INRA magazine
Agriculture
Alimentation
Environnement
N°10 - OCTOBRE 2009

DOSSIER

Grippes : le monde face aux virus



HORIZONS
Les Lauriers 2009 de l'Inra

RECHERCHE
La chrysomèle rentre en résistance

REPORTAGE
Chlorophylle *in silico*, la botanique virtuelle

sommaire

Chers lecteurs

L'actualité s'invite largement dans ce dixième numéro d'Inra magazine. Avec la grippe A d'abord. Déjà très mobilisé lors de l'épidémie de grippe aviaire, l'Inra s'implique fortement dans l'effort national face à la première pandémie du siècle en se dotant de structures de confinement uniques en France et en développant des programmes de recherche allant de la molécule aux troupeaux. Plus largement, en participant à l'Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé axée sur la santé humaine, l'Inra contribue à l'amélioration des connaissances au profit de la lutte contre les zoonoses.

La chrysomèle, insecte ravageur du maïs, le « *billion dollars bug* », a également fait les gros titres cet été. La confirmation de son expansion sur le sol français invite à comprendre au plus vite ses dynamiques de développement et d'invasion pour mieux les contrer.

La tenue de la conférence de Copenhague en décembre donne également l'occasion de rappeler que l'Inra est partie prenante dans la définition des positions françaises sur le changement climatique.

Suite au saccage, début septembre, de la parcelle du centre de Colmar où étaient expérimentés des porte-vignes transgéniques, nous vous proposons de découvrir sur inra.fr un dossier spécial qui vous donne un éclairage sur les multiples enjeux de ces recherches.

Enfin, pour terminer sur une note plus légère, nous avons le plaisir de vous présenter les cinq lauréats de l'édition 2009 des Lauriers de l'Inra.

La rédaction



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
147 rue de l'Université • 75338 Paris Cedex 07
www.inra.fr

Directrice de la publication : Marion Guillou. **Directeur éditorial** : Jean-François Launay. **Directeur de la rédaction** : Antoine Besse. **Rédactrice en chef** : Catherine Donnars. **Rédactrice en chef adjointe** : Pascale Mollier. **Rédaction** : Magali Sarazin, Aline Waquet, Patricia Léveillé, Hélène Deval. **Photothèque** : Jean-Marie Bossennec, Julien Lanson, Christophe Maître. **Couverture** : © CDC/ Dr. F. A. Murphy. **Maquette** : Patricia Perrot. **Conception initiale** : Citizen Press - 01 53 00 10 00. **Impression** : Imprimerie Champagnac. Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement. **Dépôt légal** : octobre 2009.

Renseignements et abonnement : inramagazine@paris.inra.fr

reflexnature



ISSN : 1958-3923

Proposer des pistes contre le réchauffement climatique

Douze ans après Kyoto, la Conférence de Copenhague qui se tiendra du 7 au 18 décembre devrait fixer de nouveaux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

TOUR DE MESURES dans une forêt landaise de pins maritimes pour étudier les mécanismes régissant les transferts entre un couvert végétal et l'atmosphère.

L'enjeu est de taille : si l'on ne réussit pas à réduire les émissions de gaz à effet de serre avant 2035, on pourrait atteindre un réchauffement de 4°C avec des impacts pratiquement irréversibles pour la biosphère et pour les populations humaines les plus exposées. A la clé du sommet de Copenhague : l'inflexion des investissements industriels et sociétaux. Les écosystèmes naturels et cultivés qui sont à la fois sources et puits de carbone pourraient être des variables d'ajustement dans les discussions. L'Inra a été invité à contribuer à la position française. Jean-François Soussana qui fut l'un des rédacteurs du 4e rapport du GIEC (1) paru en 2007 nous apporte son point de vue sur une question qui est devenue un chantier de recherche majeur.

Quelle contribution l'Inra peut-il apporter à la conférence de Copenhague ?

Jean-François Soussana : L'Institut met ses données et avis scientifiques à la disposition des pouvoirs publics nationaux et régionaux. Le gouvernement nous a ainsi demandé d'actualiser les simulations que nous avions faites en 2008, à l'aune du nouveau Plan climat. Ce rapport montre que l'agriculture et la sylviculture ont eu un rôle moteur dans la réduction des émissions totales de gaz à effet de serre entre 1995 et 2005 en France. Mais leur contribution pourrait s'amoindrir, voire s'inverser à l'horizon 2020 en fonction des scénarios que l'on privilégie. Les différentes filières et les ONG s'appuient aussi sur l'expertise de l'Inra.

Vous coordonnez un atelier de prospective sur l'adaptation de l'agriculture et des écosystèmes face au changement climatique (2). Quelles questions vous posez-vous ?

J.-F. S. : Dans un contexte de changement climatique, comment limiter les risques de flambée des prix agricoles et préserver la sécurité alimentaire ? Comment augmenter la résilience des écosystèmes et des zones protégées ? Comment faire face à la raréfaction de l'eau et à la dégradation des sols ? Notre atelier porte sur ces grands enjeux. Il a pour vocation d'élaborer une stratégie ambitieuse de recherche, qui est maintenant en cours de discussion avec nos partenaires européens, Au plan mondial, les enjeux sont énormes puisqu'il faudra vraisemblablement doubler la production alimentaire d'ici 50 ans pour nourrir la planète.

L'Inra étudie aussi comment réduire la contribution nette des activités agricoles et sylvicoles au réchauffement.

J.-F. S. : Bien sûr ! Nos recherches visent à augmenter les stocks de carbone dans la matière organique des sols, à valoriser le potentiel énergétique de la biomasse forestière, à réduire les émissions de méthane des ruminants et celles de protoxyde d'azote des sols agricoles. Nous étudions également les synergies entre la lutte contre l'effet de serre et l'adaptation au changement climatique.

Propos recueillis par Hélène Deval

(1) Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat
(2) Prospective Adage (Adaptation de l'agriculture et des écosystèmes anthropisés au changement climatique), financée par l'Agence nationale pour la recherche

+d'infos

sur le Web :
Mission Inra sur le changement climatique : www.avignon.inra.fr/les_recherches__1/liste_des_unites/agroclim/mission_changement_climatique_et_effet_de_serre
www.inra.fr/la_science_et_vous/dossiers_scientifiques/changement_climatique
www.clermont.inra.fr/adage
Site de la Conférence : http://fr.cop15.dk/frontpage

Contact :
soussana@clermont.inra.fr



Les Lauriers 2009

Rendez-vous annuel depuis 2006, la cérémonie de remise des Lauriers de l'Inra s'est tenue à Paris le 22 septembre. Les Lauriers récompensent les qualités scientifiques, techniques et humaines de cinq personnalités ainsi que leur engagement dans le collectif professionnel. Cette année, cette distinction s'ouvre à des acteurs œuvrant dans des unités de l'Inra, mais pouvant appartenir à d'autres organismes, comme Michel Moreaux, professeur de l'université de Toulouse-Capitole.

Portraits par Pascale Mollier et Magali Sarazin

LAURIER « JEUNE CHERCHEUR »

Olivier Loudet, les vertus de l'observation



Olivier Loudet, 35 ans, est entré à l'Inra en 2004, après des études d'ingénieur agronome, une thèse effectuée à l'Inra de Versailles et un post-doctorat au Salk Institute *de San Diego.*

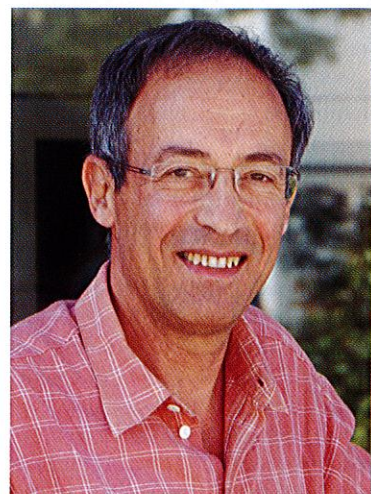
Olivier Loudet étudie les mécanismes d'évolution des plantes et leur adaptation à l'environnement. Sur la plante modèle *Arabidopsis thaliana*, dont il ramène des spécimens du monde entier, il a isolé plusieurs gènes qui contrôlent les réponses à la lumière et aux conditions du sol. « Arabidopsis, *petite crucifère sauvage proche du colza, explique-t-il, offre un double avantage : celui d'étudier des mécanismes d'évolution naturelle, puisqu'elle n'a pas été sélectionnée par l'homme et celui de mettre à jour des mécanismes d'adaptation fondamentaux qui ont des chances d'être conservés chez les espèces cultivées qui subissent les mêmes contraintes environnementales* ». Dépassant les clivages recherche fondamentale ou appliquée, Olivier Loudet combine aussi le laboratoire et le terrain. « *L'observation est très importante, je l'ai appris au contact des sélectionneurs dont j'ai admiré le « coup d'œil » pour repérer les plantes prometteuses. J'observe mes plantes tous les jours, et parfois, elles m'apprennent d'autres choses que ce que je cherche* ». Pas d'*a priori* donc, mais une grande capacité d'évolution et d'adaptation chez ce jeune chercheur, qui dit apprécier particulièrement la marge de liberté dont il dispose à l'Inra. Ses travaux sont largement repris dans la communauté scientifique et il vient d'obtenir un financement du très sélectif Conseil européen de la recherche qui lui permettra de conforter son équipe.

LAURIER « INGÉNIEUR »

Joël Abécassis, de la technologie à l'intelligence artificielle

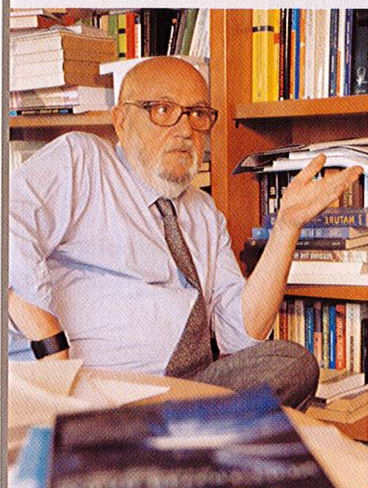
Après une formation d'ingénieur meunier, Joël Abécassis, 59 ans, a mené l'ensemble de ses recherches à l'Inra sur les procédés de transformation des céréales, dont il est devenu un expert internationalement reconnu.

« *En meunerie classique, on se contente de séparer l'enveloppe du grain de blé riche en fibres, de l'amande, que l'on transforme en farine. Actuellement, on cherche à séparer plus finement les constituants des grains : - protéines, amidon, lipides, fibres et même micronutriments - pour l'alimentation, la chimie ou les biocarburants. On s'achemine vers la raffinerie du végétal par voie sèche* », explique Joël Abécassis, qui développe des programmes innovants en ce sens. Il participe aussi à la réflexion sur les nouvelles stratégies d'utilisation des ressources végétales rendues possibles par ces technologies. Il anime pour cela à l'Inra un groupe de chercheurs issus de plusieurs disciplines, de la biologie moléculaire à l'économie. Soucieux du transfert vers la filière céréalière, il s'emploie à intégrer les connaissances acquises dans des logiciels d'aide à la décision avec des évaluations bénéfices/risques. En outre, il est à l'origine de plusieurs innovations, dont le blé Ebly®, un blé dur cuit en dix minutes devenu classique dans plusieurs pays d'Europe.



LAURIER DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

Michel Moreaux, l'économie pour explorer les futurs possibles



Michel Moreaux, 68 ans, est professeur de sciences économiques à l'université Toulouse - Capitole. Il est le fondateur du Laboratoire d'économie des ressources naturelles (Lerna), une unité mixte Inra - université Toulouse-Capitole.

Michel Moreaux s'intéresse aux ressources naturelles et à l'environnement dès la fin des années 70, au moment où ce champ commence à être investi par les économistes. « *Mes travaux*, explique t-il, *reposent sur des modèles dynamiques qui intègrent les répercussions à long terme de contraintes globales comme la disponibilité des ressources naturelles, renouvelables ou non renouvelables. Ces contraintes évoluent au cours du temps grâce au progrès technique dont la marche est en partie réglée par l'intensité des restrictions que ces contraintes font peser sur la société. Au XVIIIe siècle, 80 % de la population active était employée dans l'agriculture, la contrainte forte était la disponibilité en terre de qualité et la rente foncière représentait 25 % du produit national. La conjonction de ces contraintes physiques et des contraintes économiques permet d'éliminer des scénarios totalement improbables, pour mieux explorer les futurs possibles et éventuellement repérer les ruptures à venir* ».
Quand il crée en 2000 le Lerna, il a pour ambition d'en faire un centre d'excellence académique international dans cinq domaines d'économie théorique et appliquée : l'énergie, l'eau, les risques, la régulation publique et l'activité agricole. Promesse tenue : moins de dix ans après sa création, le Lerna se classe premier dans le domaine en Europe et parmi les dix meilleurs au monde.

DEUX LAURIERS « APPUI À LA RECHERCHE »



Jocelyne Olivier, un parcours atypique

Par trois fois, à Jouy-en-Josas, Angers, puis Toulouse, Jocelyne Olivier, 60 ans, s'est lancée à la découverte d'un nouveau centre et de nouvelles thématiques en reproduction animale puis en pathologie végétale.

A Toulouse, dernière ville de son « tour d'Inra », dans l'unité intitulée « Interactions entre plantes et microorganismes », Jocelyne Olivier se convertit aux récents outils de la biologie moléculaire : extraire de l'ADN, identifier et caractériser un gène, etc. Elle contribue à identifier chez la tomate et la plante modèle *Arabidopsis thaliana* les gènes de résistance à *Ralstonia solanacearum*, une bactérie du sol pathogène pour de nombreuses plantes cultivées. Depuis plusieurs années, Jocelyne Olivier est aussi élue du personnel au service de l'Adas, l'association pour le développement des activités sociales de l'Inra, qu'elle préside aujourd'hui. Elle souhaite que l'Adas, par ses activités culturelles et de loisirs, apporte « de l'extraordinaire » dans l'ordinaire du quotidien.

Laurence Le Maout, au devant des progrès de l'informatique

Laurence Le Maout, 45 ans, a débuté à l'Inra comme technicienne forestière dans une unité naissante de quatre personnes. Répondant aux besoins, elle s'est très vite investie dans les opérations de gestion et gère actuellement les finances d'une unité de 80 personnes.

Dès son entrée à l'Inra, Laurence Le Maout a été sollicitée pour des tâches administratives, car il n'y avait personne dans l'unité pour ce poste. Elle a su tirer parti de ce glissement professionnel du technique vers l'administratif, utilisant sa compréhension du travail scientifique pour fournir un appui le plus adapté possible aux besoins de l'équipe. Elle a notamment commencé à prendre en charge les premiers contrats européens. « *Les enjeux pour l'unité étaient très importants, il fallait distribuer l'argent, rationaliser les dépenses, il y avait de la pression, mais c'était un travail utile* ». Actrice des changements d'outils informatiques depuis 20 ans, elle est devenue formatrice et s'active à mutualiser l'information et optimiser les pratiques.



+d'infos **sur le web :** reportages, films : **www.inra.fr/lauriers**

en bref

Essai OGM saccagé

• Les porte-greffes transgéniques de vigne destinés à lutter contre la maladie du court-noué en essai au centre de Colmar depuis 2005 ont été saccagés le 7 septembre. L'Inra déplore d'autant plus ce vandalisme que l'expérimentation devait apporter des données scientifiques précises qui feront désormais défaut et qu'elle avait fait l'objet d'une démarche de suivi par des comités locaux et nationaux associant chercheurs, vignerons, syndicats agricoles, élus et associations.

Nouveaux modèles au service de l'alimentation

Coordonné par l'Inra, un nouveau projet européen, Dream, développe des modèles alimentaires rendant compte de la structure des aliments, facteur déterminant pour comprendre leurs effets dans le corps humain. Ces modèles permettront aussi de simuler l'impact des processus de transformation agro-alimentaire sur les propriétés nutritionnelles et sanitaires des aliments.

Prix scientifiques

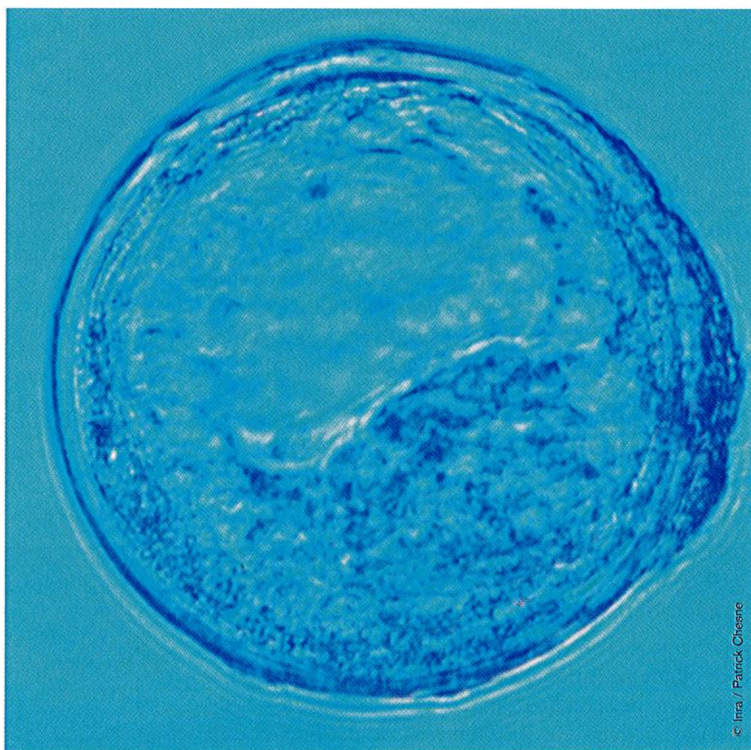
Jean Dénarié, directeur de recherche émérite au Laboratoire des interactions plantes-microorganismes Inra-CNRS de Toulouse, a été élu membre de l'Académie des sciences.
Hervé Vaucheret, directeur de recherche de l'unité biologie cellulaire (Inra Versailles-Grignon) a reçu conjointement avec Olivier Voinnet (CNRS), le Grand prix scientifique 2009 de la fondation Louis D. de l'Institut de France, pour ses travaux sur le rôle des petits ARNs au cours du développement et dans le maintien de l'intégrité du génome.
Une équipe de l'unité Physiologie de la reproduction et des comportements de l'Inra de Tours a été récompensée par le concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes pour son projet « ReproVet ».
www.inra.fr/toute_l_actu/prix_et_distinctions

Rapport d'activité 2008

Le rapport d'activité de l'Inra est disponible sur le site Web.
www.inra.fr/l_institut/rapport_d_activite_2008

L'utérus reconnaît les embryons clonés

Les chercheurs de l'Inra de Jouy-en-Josas ont montré chez la vache que l'utérus peut distinguer des embryons générés par des technologies différentes et s'y adapter en exprimant différents gènes, mettant ainsi en évidence sa plasticité.



EMBRYON DE VACHE huit jours après fécondation. On distingue la masse embryonnaire proprement dite (en bas à droite) et la couche de cellules extra-embryonnaires nourricières, qui tapisse le pourtour de l'embryon.

En juillet 1996, la brebis Dolly est née, non pas de la rencontre d'un ovule et d'un spermatozoïde, mais à partir du noyau d'une cellule de peau transféré dans un ovule énucléé. Cette technique, dite de « clonage par transfert de noyau », a été depuis reproduite chez de nombreux animaux, vache, chèvre, porc, cheval, lapin, rat. (cf encadré). Le taux de naissance pour ce type de clonage varie de 1 à 10 % contre 30 à 60 % pour la fécondation *in vitro*. Toutefois chez les ruminants, notamment les bovins (où la durée de la gestation est de neuf mois), l'échec survient souvent tardivement, les embryons clonés se développant apparemment normalement pendant plusieurs mois, bien au-delà de l'étape d'implantation de l'embryon dans l'utérus de la mère, implantation qui a lieu au vingtième jour de la gestation. Les chercheurs se sont donc intéressés à la « réaction » de l'utérus lorsqu'il accueille un tel embryon.

Olivier Sandra et Nadera Mansouri-Attia, dans l'équipe de Jean-Paul Renard, ont en particulier comparé cette réaction pour trois types d'embryons différents : des embryons obtenus par fécondation *in vivo* (1) des embryons obtenus par fécondation *in vitro* (2) et des embryons obtenus par clonage (3). Pour cela, ils ont mesuré le niveau d'expression des gènes exprimés par l'utérus au moment où il établit les tout premiers contacts avec l'embryon. Ils montrent pour la première fois que l'utérus exprime des gènes différents pour chaque type d'embryons. Ces différences portent sur des gènes impliqués dans l'immunité mais aussi dans la régulation du métabolisme. L'environnement utérin est donc capable de reconnaître, par un mécanisme de régulation apparemment très fin, le type d'embryon avec qui il établit un contact.

Cette découverte d'une adaptation très précoce de l'utérus au potentiel de développement de chaque embryon constitue une avancée significative dans la compréhension de sa contribution au succès de l'implantation. Elle confère à l'épithélium utérin un rôle de « capteur précoce » du destin de l'embryon.

Que reconnaît l'utérus ? L'épithélium de l'utérus établit les premiers contacts avec les cellules nourricières de l'embryon, qui forment elles-mêmes un épithélium (cf photo). C'est à partir de ce contact entre deux épithéliums que l'utérus, non seulement reconnaît la présence d'un embryon, mais aussi jauge ses capacités futures de développement pour mieux le porter. Or, l'équipe de Jean-

Histoire de clones

Les premières vaches clonées ont vu le jour en 1998 à l'Inra de Jouy-en-Josas. « *La première grande découverte*, selon Jean-Paul Renard, qui dirige l'unité, *a été le fait qu'un noyau de cellule adulte, donc différencié, puisse redonner un embryon. On ne croyait pas que la différenciation cellulaire puisse être un processus réversible* ». Un vaste champ de recherche s'est alors ouvert pour comprendre ce processus de « dédifférenciation-reprogrammation ». Le noyau adulte repasse à un état embryonnaire sous la seule influence du contenu cellulaire de l'ovocyte. Les gènes du noyau ne sont pas modifiés, mais leur expression varie : on parle de modifications épigénétiques. De nombreuses études visent à mieux comprendre ces mécanismes en étudiant les embryons obtenus par clonage.

Paul Renard avait montré précédemment que les cellules nourricières présentent des défauts de reprogrammation souvent plus marqués que la masse embryonnaire proprement dite. L'adaptation de l'utérus à l'embryon trouve ses limites quand les anomalies initiales sont trop importantes. C'est le cas le plus souvent avec les anomalies génétiques constitutives.

L'objectif du laboratoire est maintenant de connaître les limites de l'adaptation de l'utérus à la présence d'un embryon, un enjeu non seulement pour améliorer la fertilité des mammifères d'élevage mais aussi pour comprendre, voire peut-être un jour moduler, le rôle de l'implantation comme barrière au croisement entre espèces proches. ●

Pascale Mollier

(1) Insémination artificielle d'une vache, puis transfert de son embryon dans l'utérus d'une vache porteuse.

(2) Fécondation d'un ovule par un spermatozoïde en tube à essai, puis transfert de l'embryon obtenu dans l'utérus d'une mère porteuse.

(3) Transfert d'un noyau de cellule de peau dans un ovule énucléé, puis transfert de l'embryon dans l'utérus d'une mère porteuse.

+d'infos

Mansouri-Attia N, Sandra O, Aubert J, Degrelle S, Everts RE, Giraud-Delville C, Heyman Y, Galio L, Hue I, Yang X, Tian XC, Lewin HA, Renard JP. 2009. Endometrium as an early sensor of *in vitro* embryo manipulation technologies. *Proc Natl Acad Sci U S A*. **106**:5687-92

contacts :
Olivier.Sandra@jouy.inra.fr ;
Jean-Paul.Renard@jouy.inra.fr

INTERVIEW

Un parcours atypique



Vous avez suivi un cursus original en menant de front une thèse de biologie dans l'équipe de Jean-Paul Renard et une thèse de philosophie. Qu'avez-vous retiré de cette dualité ?

Béatrice de Montera : Ma conception philosophique du clonage s'est construite au fur et à mesure, sur la base de mes résultats scientifiques dans le domaine. Au cours de ma thèse de biologie, j'ai contribué à montrer que des clones bovins sont très semblables génétiquement mais différents au niveau épigénétique*. La variabilité de la méthylation globale de l'ADN est plus importante entre des clones qu'entre de vrais jumeaux (monozygotes). Si cette variabilité épigénétique n'empêche pas une vie adulte normale, pour autant, on ne connaît pas sa signification biologique, ni son impact à long terme. Par ailleurs, il a été montré au laboratoire (Coulon *et al*, 2007) que les clones bovins présentent des différences notamment dans leur comportement d'exploration par rapport aux animaux témoins. Cela peut s'expliquer avant tout par leur contact prolongé avec l'homme en raison des soins indispensables qui leur sont prodigués par des vétérinaires à la naissance (leur mortalité reste importante dans les 3 premiers mois). Mais il est également possible qu'un clone soit différent de l'animal original dans son comportement, puisque les vrais jumeaux le sont entre eux. A ce titre, il paraît donc illusoire de cloner un animal de compagnie disparu pour le « retrouver ». Le clonage n'est pas un moyen d'atteindre l'immortalité !

Quelle est votre vision actuelle du clonage ?

B. de M. : Le clonage est un très bon outil de biologie fondamentale notamment pour connaître le rôle de l'épigenèse dans le développement d'un organisme. C'est aussi pour l'instant le meilleur moyen, combiné à une transgénèse ciblée, d'obtenir des modèles de certaines maladies génétiques humaines. En ce qui concerne le sauvetage d'espèces menacées, le clonage de certains individus, s'il est réussi, ne peut être utile que s'il reste suffisamment d'animaux différents génétiquement pour reconstituer la diversité biologique nécessaire au maintien de l'espèce.

Le clonage pose t-il des questions d'éthique particulières ?

B. de M. : Chez les bovins, le syndrome dit du « gros veau » touche 50 % des clones, contre quelques % chez des veaux issus de fécondation *in vitro*. Au laboratoire, on suit la gestation des veaux clonés par échographie et on pratique une césarienne lorsque le clone est gravement atteint, pour éviter la souffrance de la mère porteuse et du fœtus. En général, pour toute expérimentation animale, le chercheur doit se poser la question de savoir si l'importance de sa recherche justifie la souffrance des animaux. Conformément à la réglementation européenne, il est tenu de limiter cette souffrance et le nombre d'animaux utilisés. Il ne s'agit pas de freiner la recherche, mais de la rendre responsable.

* Les modifications épigénétiques contribuent à la régulation de l'expression des gènes sans toucher à la séquence en nucléotides de l'ADN. La méthylation de l'ADN est la modification épigénétique la plus étudiée chez les mammifères.

en bref

Comptabiliser les dégâts écologiques et les coûts économiques causés par les espèces invasives

Sur les 10 000 espèces recensées par le projet Daisie lancé en 2005, 11 % auraient un impact négatif sur l'écologie et 13 % sur l'économie. Parmi les espèces occasionnant les plus gros dégâts économiques, on trouve une algue unicellulaire toxique en Norvège (8,2 M€/an), la jacinthe d'eau en Espagne (3,4 M€/an) et le ragondin en Italie (2,8 M€/an).
Front Ecol Environ 2009, doi,10.1890/080083

Invasion dans les kiosques

Le magazine *Pour la science* publie en octobre un hors série « À la conquête des espèces » qui fait écho aux recherches de l'Inra sur les invasions biologiques.

Les pins européens résistent bien au feu

Les pins européens survivent mieux aux incendies, selon le classement établi par le programme européen, « *Fire Paradox* », auquel participe l'Inra. Le trio de tête des résistants se compose du pin des Canaries, du pin maritime et du pin parasol.
Forest Ecology and Management, 256 (2008) 246-255

Retour du saumon dans la Seine

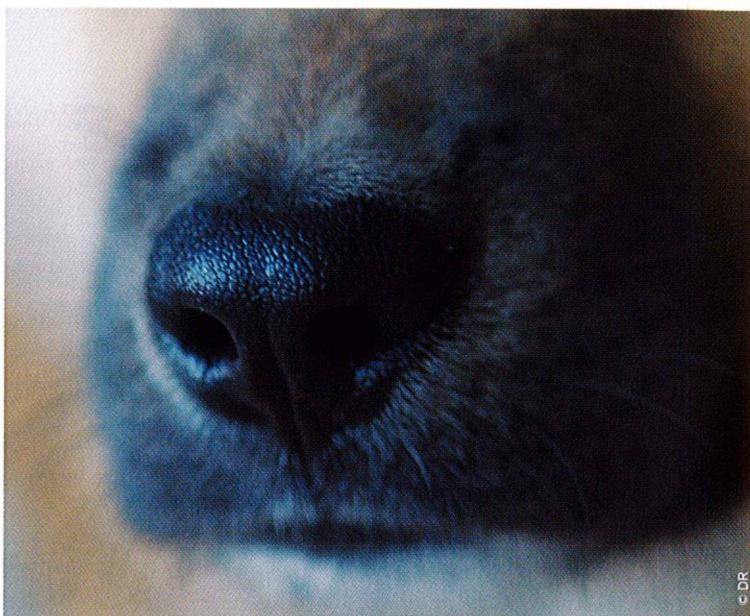
Le retour spontané de diverses espèces de poissons migrateurs dont le saumon atlantique dans la Seine depuis 2000, marque une nette amélioration de la qualité des eaux du fleuve, selon les analyses réalisées par l'Inra, l'Onema et le Cemagref.

La virulence de la Listeria

Une étude menée par l'Institut Pasteur, associé à l'Inserm et à l'Inra dévoile comment *Listeria monocytogenes*, bactérie inoffensive de l'environnement devient un dangereux pathogène responsable de la listériose une fois hébergée par son hôte mammifère, en modulant l'activité de tout son génome.
Nature vol 460, 18 juin 2009
www.nature.com/nature/journal/vaop/ncurrent/abs/nature08080.html

Dernier nez des capteurs

À la rencontre de la biologie et de la nanotechnologie, la nouvelle génération de nez artificiels étudiés par le laboratoire Inra « Neurobiologie de l'olfaction et de la prise alimentaire (Nopa) » se montre pleine de promesses.



LES CHERCHEURS ONT ÉLABORÉ UN PROTOTYPE de nez artificiel qui capte les molécules odorantes comme peut le faire la truffe d'un chien.



Dès qu'il *y a une odeur à détecter, il y a une application potentielle !* » s'enthousiasme Edith Pajot directrice adjointe du laboratoire Nopa. D'où son énergie à réaliser un nez artificiel « *qui pourrait déceler des composés toxiques dans les aliments, la maturation des fruits, la formation d'arômes, les polluants de l'environnement dont les COV (composés organiques volatils), des explosifs mais aussi des maladies, comme certains cancers ou la tuberculose.* » Des expériences ont par exemple déjà montré que rats ou chiens détectent avec fiabilité des cancers du poumon, de la vessie et de la prostate. Les scientifiques savent en effet depuis longtemps que les cellules cancéreuses produisent des composés organiques volatils, molécules odorantes qui passent dans l'urine, le sang ou l'haleine.

Jusque-là, les nez artificiels n'ont pas rencontré le succès escompté. Leur fonctionnement repose sur des capteurs physiques ou chimiques dont les propriétés changent au contact de la molécule odorante. Mais ces capteurs varient selon les conditions d'utilisation, ils ont une durée de vie limitée et s'avèrent peu précis. Les nouveaux nez artificiels, ou « biosenseurs olfactifs », s'inspirent directement de recherches comme celles menées au laboratoire Nopa sur le fonctionnement des neurones olfactifs de la muqueuse qui tapissent le fond de nos fosses nasales. Chacun de ces neurones consacre une partie de ses gènes à commander la synthèse de protéines réceptrices, reconnaissant et fixant les molécules odorantes qui arrivent à leur surface. Les chercheurs veulent donc mimer au plus près ce système olfactif biologique. Problème : il est extrêmement difficile d'utiliser la cellule neuronale. Qu'à cela ne tienne, leur dispositif ne reposera que sur la protéine, qu'ils font « usiner » par une autre cellule !

La levure « renifleuse » des chercheurs

La toute première étape consiste à identifier, à partir de tissus olfactifs prélevés sur des rats, les neurones (1) qui répondent aux odeurs recherchées. Les chercheurs identifient ensuite la séquence du gène codant pour la protéine-réceptrice *ad hoc*. « *Cette séquence est introduite dans une levure de boulanger modifiée,* Saccharomyces cerevisiae, *pour lui faire produire à sa surface le récepteur olfactif, ce qu'elle ne fait pas naturellement* » explique la scientifique. L'art des chercheurs ne s'arrête pas là ! Ils préparent à partir de cette levure des « nanosomes », billes de 50 nm (2) de diamètre portant les récepteurs. Puis, les nanosomes sont associés à des nanoélectrodes d'or, chargées de capter les nanovariations des propriétés électriques du récepteur quand il reçoit la molécule odorante.

Ce savoir-faire, Edith Pajot et ses partenaires le tirent de « Spot-Nosed » (3), projet soutenu par l'Union européenne dans le cadre de son initiative « Futures technologies émergentes ». Il leur a permis d'établir la preuve du concept et de mettre au point un prototype de taille microscopique. Déjà, la chercheuse et son équipe ont les yeux rivés vers « Bond » (2009-2012), un deuxième projet européen dont le lancement interviendra en octobre à Barcelone. En perspective, les chercheurs flairent de nouvelles innovations... ●

Magali Sarazin

(1) Parmi les millions de neurones olfactifs, chacun n'exprime qu'un seul type de récepteur olfactif parmi un répertoire de plus de 1 000. Chaque type de récepteur reconnaît entre 3 et 20 molécules odorantes et inversement, une même molécule odorante peut être perçue par 5 à 10 récepteurs !

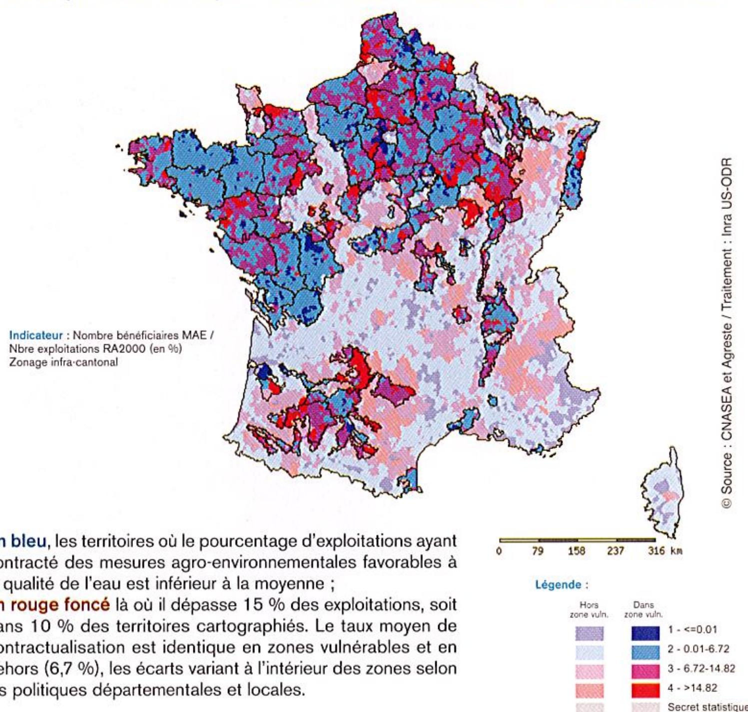
(2) Un nanomètre ou 1 nm = un milliardième de mètre ou 10^{-9} m

(3) Spot-Nosed, Single PrOTein NanObioSEnsor griD array, recherches programmées de 2003 à 2006.

Cartographies des politiques rurales

Les politiques agricoles et rurales foisonnent de mesures, conditions et spécificités régionales ou professionnelles. Elles génèrent des millions d'informations que l'Observatoire du développement rural (ODR) agrège et analyse. Interview de son responsable, Gilles Allaire, directeur de recherche à Toulouse.

Taux de contractualisation des mesures agro-environnementales ayant un effet fort sur la qualité de l'eau (période 2000-2006), dans et hors « zones vulnérables »



En bleu, les territoires où le pourcentage d'exploitations ayant contracté des mesures agro-environnementales favorables à la qualité de l'eau est inférieur à la moyenne ; **en rouge foncé** là où il dépasse 15 % des exploitations, soit dans 10 % des territoires cartographiés. Le taux moyen de contractualisation est identique en zones vulnérables et en dehors (6,7 %), les écarts variant à l'intérieur des zones selon les politiques départementales et locales.

Quelles sont les fondements de l'Observatoire du développement rural ?

Gilles Allaire : L'Inra, le ministère de l'Agriculture et la récente Agence de service et de paiement (1) ont créé, en 2008, cet observatoire pour évaluer les politiques de développement rural, le deuxième pilier de la PAC. En échange de son implication, l'Inra dispose d'informations très riches à des fins de recherche. La coopération s'est depuis élargie à la MSA (2) pour l'emploi agricole et se finalise avec l'Inao (3) pour les données liées aux signes de qualité.

Quels types d'information analysez-vous ?

G. A. : On récupère les données administratives des dispositifs de gestion des politiques de développement rural. Les données primaires étant soumises au secret statistique, le serveur les agrège. Néanmoins, les calculateurs peuvent les utiliser en mode caché. Du fait de la dispersion et du très grand nombre de données, un gros travail est nécessaire pour transformer ce flux en données statistiques normalisées. Mais l'intérêt premier de l'observatoire est cette exhaustivité. Alors que le Rica (Réseau d'information comptable agricole) correspond à un échantillon de 7 500 exploitations agricoles françaises, avec l'ODR, on peut brancher le calculateur sur les données réelles des 390 000 bénéficiaires du Plan de développement rural national. Enfin, les données sont rattachées à des codes géographiques : communes, zones Natura 2000, etc. L'observatoire génère donc des bases de données statistiques qui sont localisées. On peut visualiser les résultats sous forme de cartes.

L'Observatoire produit donc des cartes.

G. A. : Oui, l'interface web offre de larges possibilités de navigation cartographique entre échelles et types de territoires. Il est aussi possible de superposer des fonds de carte à partir de liens avec le Géoportail national (4). Par surbrillance, on peut regarder l'éventuelle influence de facteurs comme la météo, l'altitude ou l'hydrographie sur la variable étudiée, par exemple, le rendement. Au-delà des simples visualisations, les utilisateurs peuvent exporter des données agrégées, les croiser avec d'autres sources, demander de nouveaux calculs…

Qui sont les utilisateurs ?

G. A. : D'abord, les gestionnaires des politiques publiques. On élabore pour eux les données nécessaires au suivi et à l'évaluation des plans de développement rural 2001/2006 et 2007/2013. Unique en Europe par son envergure, l'ODR est soutenu par la Commission européenne. Il permet par ailleurs des recherches spécifiques. Citons un travail d'une doctorante sur le devenir de la production laitière en montagne après la suppression des quotas ou celui d'un autre thésard sur la mortalité précoce chez les bovins (70 millions d'animaux). D'autres programmes vont démarrer sur la biodiversité des oiseaux en partenariat avec le Museum national d'Histoire naturelle et sur la contractualisation en agriculture biologique avec l'Agence BIO (5). Plus généralement, l'objectif est d'intéresser la recherche pour faire émerger de nouveaux indicateurs d'évaluation des politiques publiques. ●

Propos recueillis par
Catherine Donnars

repères

La Politique agricole commune comporte deux piliers, le premier concerne les aides directes de soutien des revenus et des marchés, le second les plans de développement rural, comprenant les mesures agro-environnementales.

(1) Agence de service et de paiement créée en avril 2009 qui fusionne l'Agence unique de paiement (premier pilier de la PAC) et le Cnasea (second pilier).
(2) Mutualité sociale agricole
(3) Institut national de la qualité
(4) Le Géoportail est administré par l'Institut géographique national. www.geoportail.fr
(5) Groupement d'intérêt public en charge du développement et de la promotion de l'agriculture biologique.

+d'infos
ODR : **htttp**://esrcarto.supagro.inra.fr
contacts :
Gilles.allaire@toulouse.inra.fr

La Chrysomèle rentre en résistance

La larve du coléoptère *Diabrotica virgifera virgifera*, plus connue sous le nom de Chrysomèle des racines du maïs, fait des ravages dans ces cultures. Dans les champs d'Amérique du Nord, ses dégâts s'élèveraient à un milliard de dollars. D'où l'inquiétude des agriculteurs français et la mobilisation de l'Inra peu après l'apparition des premiers foyers français en 2002. Thomas Guillemaud de l'unité de recherche « Interactions biotiques et santé végétale » nous expose quelques pistes de recherche.



CHRYSOMÈLE vue au travers d'une feuille de maïs.

La Chrysomèle du maïs a été très médiatisée cet été, les recherches sur ce ravageur restent-elles actives ?

Thomas Guillemaud : Notre activité est en effet assez soutenue. Notre laboratoire a plusieurs projets de recherche dont un projet ANR financé jusqu'en 2011 et de nombreuses collaborations avec les Etats-Unis et les autres pays européens. Nous projetons entre autres de séquencer entièrement le génome de Diabrotica. Mais avec 2.5 milliards de bases c'est une taille de génome de l'ordre de celui de l'Homme ! Les besoins de crédits sont donc importants…

Quelles sont les nouvelles recherches en cours dans votre laboratoire ?

T. G. : Nous nous sommes par exemple penchés sur l'apparition de résistance de l'insecte à la rotation des cultures. Cette méthode très écologique est devenue, du fait de l'apparition de cette résistance, moins efficace dans les années 1990. Certains insectes ayant perdu la fidélité à la ponte dans le maïs peuvent pondre dans les champs de la culture alternée, dans le soja typiquement. Les larves qui émergent l'année suivante dans le maïs fraîchement semé provoquent une nouvelle infestation et des dégâts. Cette résistance reste pour l'instant cantonnée de l'autre côté de l'Atlantique. Mais il ne faut pas exclure qu'elle arrive un jour en Europe. Lors de nos recherches au laboratoire, nous avons mis en évidence des différences génétiques entre populations sensibles et résistantes à la rotation. Cependant, nous n'avons pas réussi à isoler, avec nos outils actuels, de marqueurs génétiques qui diagnostiquent la résistance. C'est pour cela, entre autres, que le séquençage du génome de Diabrotica sera très utile.

Les insecticides restent-ils un moyen de lutte efficace ?

T. G. : Certaines populations européennes provenant d'Amérique du Nord présentent des résistances aux produits américains mais, on a de la chance, pas à ceux qu'on utilise ici.

Cela n'empêche pourtant pas une augmentation des foyers chez nous.

T. G. : La situation est contrastée en Europe. Pour l'instant, en France, il y avait un foyer en Ile-de-France qui semble éradiqué ou en très faible effectif aujourd'hui. En Alsace, les effectifs d'un foyer rampant depuis 2003 ont bien augmenté cette année et il semble qu'en Bourgogne et Rhône-Alpes, il y ait un foyer désormais installé.

Continuez-vous d'étudier l'origine des Diabrotica ?

T. G. : Oui, depuis 2005 nous étudions la provenance des populations envahissantes. Comme chaque année, de nouveaux foyers s'installent. En 2008, nous avons ainsi continué à caractériser les routes d'invasions venant des Etats-Unis et des foyers européens déjà existants. Nous essayons aussi de décrire les évènements démographiques et génétiques advenant durant une invasion. Au-delà de l'avancée pour la recherche fondamentale, ces travaux peuvent aider à comprendre pourquoi certaines stratégies d'éradication ne fonctionnent pas. ●

Propos recueillis par Antoine Besse

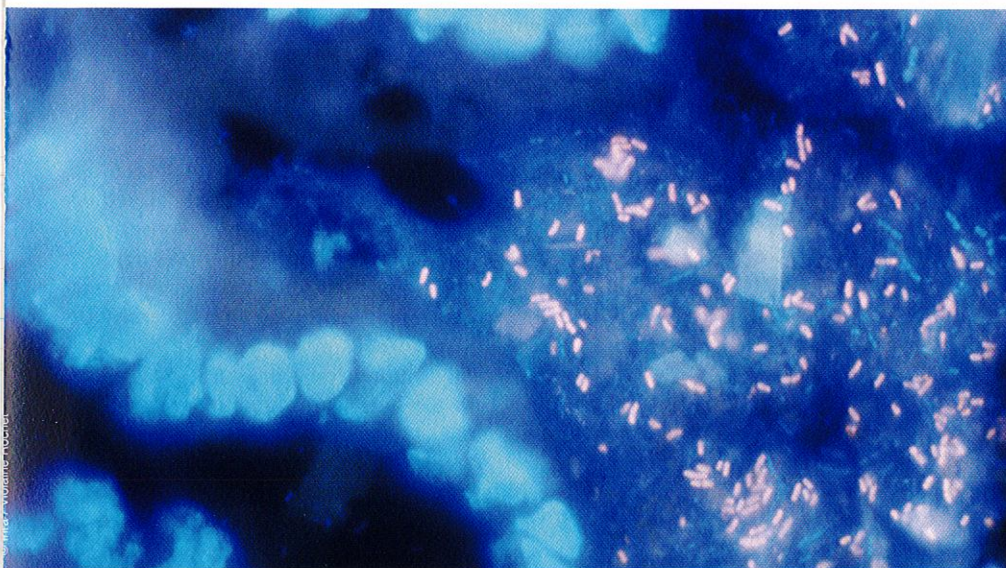
+d'infos

sur le web :
www.inra.fr/la_science_et_vous/chrysomele

contact :
Thomas Guillemaud guillem@sophia.inra.fr
Unité mixte de recherche Inra-CNRS-université de Nice-Sophia Antipolis
« Interaction biotique et santé végétale », équipe « Biologie des populations en interaction », centre Inra de Sophia-Antipolis

Perturbateurs endocriniens, œstrogènes et fonction intestinale

Le cycle hormonal sexuel exerce une influence sur les échanges d'eau intestinaux. C'est en cherchant à comprendre les effets sur l'intestin du bisphénol A, un composant du plastique qui est aussi un perturbateur endocrinien, que des chercheurs de l'Inra l'ont découvert.



VUE MICROSCOPIQUE de la barrière intestinale.

Le bisphénol A (BPA) est la molécule-mère des plastiques solides et transparents couramment utilisés dans les récipients alimentaires : biberons, récipients pour micro-ondes, revêtement intérieur des boîtes de conserves, etc. Inconvénient : cette substance migre facilement du récipient vers les aliments lors du chauffage. Sa dégradation après ingestion est estimée à quelques jours. « *En dépit de cela, le fait de la détecter dans l'organisme d'une large majorité des Européens démontre que ces expositions, faibles en intensité, sont forcément fréquentes, voire quotidiennes* » explique Thierry Pineau, coordonnateur de PlastImpact (1), programme qui étudie ce contaminant de la chaîne alimentaire. Autre inconvénient, le BPA est un perturbateur endocrinien suspecté d'être nocif pour la santé car il mime l'action des œstrogènes sans contrôle (quand, combien, etc.), les œstrogènes étant les hormones sexuelles féminines essentielles à la reproduction mais aussi au développement d'organes vitaux comme le système nerveux central ou le système cardio-vasculaire.

Eric Houdeau et des collègues du laboratoire Neurogastroentérologie et nutrition (2) se sont focalisés sur l'intestin, premier organe au contact des aliments ingérés et cible du BPA jamais étudiée jusque-là. « *Nous avons d'abord analysé le fonctionnement normal de l'intestin sous l'influence des œstrogènes naturels, et ensuite, sous l'action du BPA à très faibles doses* (3). »

Une perméabilité variable

L'intestin fonctionne comme un filtre sélectif, dédié principalement à l'absorption des nutriments tout en assurant une protection immunitaire contre l'infiltration de pathogènes. On parle alors de « barrière intestinale ». La perméabilité agit selon deux modes : transcellulaire -elle ne laisse passer que les petites molécules, comme les nutriments, à l'intérieur des cellules- et paracellulaire : un passage entre les cellules permet la circulation de l'eau et des ions, participant ainsi à l'équilibre hydrique du corps. « *Les œstrogènes régulent ces espaces intercellulaires*, explique Eric Houdeau, *comme un filet dont on resserre les mailles, en activant les récepteurs qui se situent dans les cellules épithéliales.* »

Cette régulation paracellulaire varie au cours du cycle menstruel. Les chercheurs ont travaillé sur des cellules humaines mais aussi, *in vivo*, sur des rats femelles.

Dans une première phase qui prépare l'ovulation (également chez les femmes enceintes ou sous pilule contraceptive) les œstrogènes dominent. La perméabilité de l'intestin est modifiée et cela favorise une « rétention d'eau ». Puis, durant la deuxième phase qui prépare la gestation éventuelle, l'équilibre se rétablit. S'il n'y a pas fécondation, le cycle recommence. Les chercheurs ont ainsi mis en évidence l'influence du cycle sexuel sur les échanges d'eau dans l'intestin. Ceux-ci représentent jusqu'à un litre et demi par jour chez l'adulte, soit la deuxième voie d'échange d'eau dans le corps après les reins. Sous l'action du BPA, la perméabilité paracellulaire diminue et il n'y a plus de variation cyclique, favorisant la rétention d'eau. Les chercheurs ont utilisé ces résultats pour proposer une méthode permettant d'apprécier quelles seraient les doses à partir desquelles des substances agissant comme les œstrogènes peuvent présenter un risque de toxicité. Bien d'autres résultats sont attendus d'ici la fin de PlastImpact en 2010. ●

M. S.

(1) Financé par l'Agence nationale de la recherche.
(2) Inra et école d'ingénieur de Purpan. Cette unité fait partie du pôle de recherche en toxicologie alimentaire, Toxalim.
(3) Pour les cellules humaines, les chercheurs ont testé la dose « NOAEL » (dose la plus élevée d'une substance pour laquelle aucun effet toxique n'est observé), la Dose journalière admissible (100 fois plus faible que la NOAEL) ainsi qu'un dosage 10 fois inférieur à la DJA.

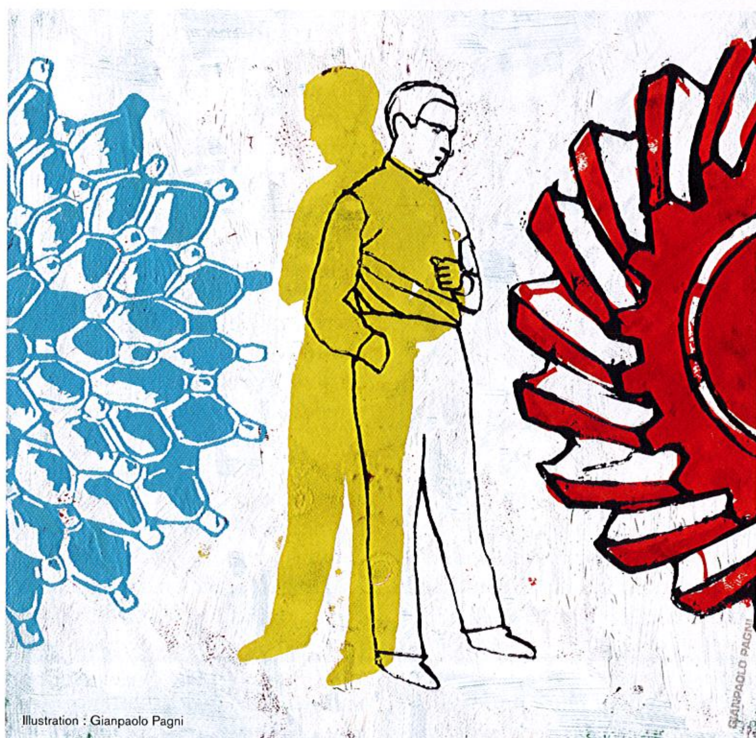
+d'infos

Oestradiol decreases colonic permeability through oestrogen receptor ,-mediated up-regulation of occludin and junctional adhesion molecule-A in epithelial cells, Viorica Braniste, Mathilde Leveque, Claire Buisson-Brenac, Lionel Bueno, Jean Fioramonti and Eric Houdeau, The Journal of Physiology, 587 - 3317-3328, 1/07/09.

contacts :
Eric.Houdeau@toulouse.inra.fr
Thierry.Pineau@toulouse.inra.fr

Pour réussir la « traversée du désert » de la valorisation économique

La valorisation économique ou la transformation des découvertes et résultats scientifiques en produits et services innovants, est un défi majeur des organismes et des campus universitaires français. Avec la société ABA, Agro Biotech Accélérateur, créée fin 2008, l'Inra et sa filiale Inra Transfert proposent une structure originale pour favoriser cette transformation.


Illustration : Gianpaolo Pagni

Objectif Caltech ! L'université californienne est souvent citée comme modèle en matière de valorisation : associant excellence dans la recherche fondamentale et vigoureuse politique d'innovation, elle est capable de faire le grand écart entre le laboratoire de recherche et le marché. C'est le modèle à suivre chez les universités françaises qui veulent doper leur politique de valorisation. La création de ABA, société anonyme montée par Inra Transfert en association avec la société de capital risque Seventure, spécialisée dans les thématiques industrielles proches de l'Inra, peut les aider à atteindre cet objectif.

Entre une découverte en laboratoire et une innovation sous forme de produit ou service acheté par des clients, il y a ce que Gérard Jacquin, président d'Inra Transfert et directeur de la valorisation à l'Inra, appelle « la traversée du désert ».

Le long et difficile parcours de la valorisation impliquant d'aller pêcher des financements, des conseils en stratégie et des structures de soutien. En effet, pour aller jusqu'à un produit ou un service qui intéresse des acteurs économiques, il faut améliorer « la preuve de concept » avec des résultats appliqués, renforcer si besoin les revendications des brevets et à terme, favoriser la création d'une activité économique nouvelle exploitant la découverte initiale.

Un soutien en amont

Lors de cette traversée semée d'embûches certaines découvertes se perdent dans des impasses ou se font dépasser par la concurrence. Pour éviter ce genre d'échecs, ABA apporte une capacité d'action supplémentaire par rapport aux moyens limités que l'Inra pouvait dédier à cet effort de transformation. Pour Gérard Jacquin « *ABA est un incubateur professionnel privé au service de l'innovation agronomique* ». Cette société, financée à 1/3 par l'Inra et 2/3 par Seventure, se focalise sur la phase amont de la valorisation. Dès le dépôt de brevet, elle fournit les fonds nécessaires pour confirmer les perspectives de développement d'un produit ou service innovant. Elle apporte également des conseils pour que la création de la future jeune entreprise se fasse dans les meilleures conditions possibles du point de vue du couple, crucial, technologie/produit pour le lancement. ABA soutient cette étape-clef de préparation avant création, dite de pré-amorçage, au plus près des laboratoires de recherche de l'Inra. Pour le moment, la société étudie une dizaine de projets par an pour en sélectionner deux qui seront soutenus sur une période allant de 12 à 24 mois.

« *Depuis trois ans, les investisseurs en capital risque s'intéressent de plus en plus aux problématiques les plus porteuses de l'Inra comme la nutrition et la santé, la chimie du carbone et les biotechnologies vertes et blanches* , explique Gérard Jacquin, *mais trouver, avec un coût d'approche et de transaction modéré, de bons projets où investir devient difficile pour eux* ».

Dans le domaine agronomique, l'Inra a tissé un réseau national permettant une détection précoce des meilleurs projets. Cette capacité de détection de l'Inra, associée aux ressources financières et à l'expérience de création d'entreprise de Seventure, offre un nouveau levier pour transformer les découvertes scientifiques de la recherche agronomique en produits et services innovants.

A. B.

+d'infos
www.inra-transfert.fr
www.seventure.fr

DOSSIER

Grippes : le monde face aux virus

La mobilisation actuelle face à la grippe A reste sans précédent dans son ampleur et sa rapidité. Cela souligne bien les inquiétudes soulevées par les maladies émergentes dont les grippes sont particulièrement emblématiques. Touchant à la fois l'Homme et les espèces d'élevage, elles peuvent avoir de lourdes conséquences tant économiques que de santé publique et animale. La recherche agronomique joue un rôle majeur pour en comprendre les mécanismes et en limiter les impacts.

Dossier rédigé par **Antoine Besse** et **Pascale Mollier**
Responsables scientifiques :
Abdenour Benmansour (Inra, Jouy-en-Josas)
et **Thierry Pineau** (Inra, Toulouse)

INRA

DOSSIER

1 De l'Influenza animale à la grippe humaine

Le virus H1N1 de 2009 se propage à une vitesse inédite mais la mobilisation scientifique a, elle aussi, été au pas de course. Six mois après son apparition nous en savons déjà beaucoup sur ce nouvel avatar de grippes qui est passé de l'animal à l'homme.



© CDC /James Gathany

CHEZ UNE PERSONNE PORTEUSE DE LA GRIPPE A, chaque gouttelette libérée durant un éternuement contient des virus. D'où la nécessité de se couvrir la bouche pour limiter la contagion !

Une grippe chasse l'autre. La grippe aviaire H5N1 qui a connu une explosion de sa propagation chez les oiseaux entre 2005 et 2006 a été repoussée au second plan des préoccupations de la population par l'arrivée retentissante de l'actuel virus H1N1, officiellement dénommé grippe A par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). A une vitesse fulgurante, six semaines seulement, on est passé des premiers cas détectés chez l'homme à une extension à tous les continents. C'est une première depuis la grippe de Hong Kong de 1968 : l'OMS a déclaré l'état de pandémie (épidémie s'étendant à un ou plusieurs continents) en juin dernier.

A l'origine des grippes humaines et animales, on retrouve la même famille de virus, les *Orthomyxoviridae* du genre Influenza de type A. Des sous-types viraux se distinguent selon la combinaison de deux de leurs protéines membranaires, l'hémagglutinine (16 variations de H1 à H16) et la neuraminidase (de N1 à N9). Les chercheurs ont dénombré pour l'instant 23 associations H-N sur les 135 possibles. Les grippes saisonnières humaines sont de type H1, H2 ou H3 associé à N1 ou N2. Les grippes porcines sont, elles, de trois sous-types, H1N1, H1N2 et H3N2. Quinze sous-types, H1 à H15, se trouvent chez les oiseaux mais seuls trois (H5, H7 ou H9) sont pathogènes. La grippe est donc une maladie fondamentalement aviaire. L'épidémie de grippe H5N1 a sensibilisé l'opinion sur la perméabilité entre espèces qui existe avec ces virus. Les oiseaux sauvages migrateurs représentent un réservoir de vecteur

Les zoonoses

Malgré des succès contre la tuberculose ou la brucellose, les zoonoses c'est-à-dire les maladies animales transmissibles à l'Homme restent très nombreuses : encéphalite spongiforme, syndrome respiratoire aigu sévère, Influenza aviaire, chikungunya, virus West Nile... Dans les trois quarts des maladies émergentes chez l'Homme au cours des quinze dernières années, on trouve l'animal soit à l'origine de l'épidémie, soit comme vecteur de transmission.

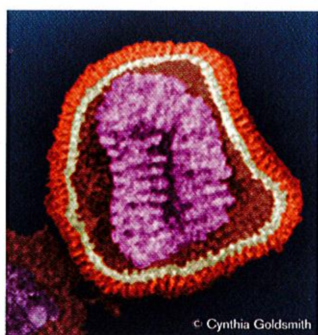
La santé humaine apparaît donc étroitement liée à celle de l'animal. Mais la lutte contre les zoonoses va au-delà de ces enjeux essentiels de santé. Les domaines couverts touchent le bien-être animal, les habitudes d'élevage ou les préjudices économiques (abattage des cheptels, dépréciation des produits). Dans ce paysage des zoonoses, les grippes ont un statut particulier. D'une part, elles comptent parmi les plus importantes et anciennes maladies épidémiques humaines : la grippe espagnole en 1918-1919, de type H1N1, a provoqué plus de cinquante millions de victimes dans le monde. D'autre part, ces grippes circulent largement au sein des espèces domestiques (oiseau, porc mais aussi chat, furet, souris, cheval...) avec comme conséquences une grande difficulté de contrôle des épidémies et une forte variabilité et donc le risque d'apparition d'une souche plus virulente.

du virus. Le passage vers l'Homme s'effectue *via* les volailles et les porcs dans des élevages où ceux-ci sont en contact (cf encadré virus).
Le virus responsable de cette grippe A de 2009 se montre très contagieux tant par voie aérienne (éternuements) que par contact (mains ou objets contaminés). Par rapport au virus H5N1, la mortalité se révèle heureusement bien moindre. L'OMS comptait, au 16 juillet, environ 127 000 cas de grippe A dans le monde et 684 décès. Soit une mortalité d'environ 0,5%. A comparer aux 248 décès humains sur les 394 cas constatés lors de la grippe H5N1 de 2005, où on dépassait donc les 60 % de taux de mortalité. Comme le souligne Abdenour Benmansour, de l'unité de recherche Virologie et immunologie moléculaires de Jouy-en-Josas, « *une recombinaison de H5N1 et H1N1 serait particulièrement redoutable et ferait craindre une pandémie comparable à celle de grippe espagnole de 1918.* » Un tel évènement n'a pour l'instant pas eu lieu dans la nature et les hybridations expérimentales entre H5N1 et un virus de la grippe humaine (H3N2) réalisées en laboratoire aboutissent à des lignées faiblement pathogènes.
Si les perspectives d'une pandémie de grippe A (H1N1) meurtrière pour l'homme semblent s'éloigner, d'autres inquiétudes subsistent. Il a été ainsi montré dans une publication récente d'une équipe du Friedrich-Loeffler-Institut que le virus peut repasser de l'homme au porc (mais pas aux oiseaux) puis rendre malade l'ensemble d'un cheptel. Ces résultats de laboratoire ne sont pas transposables tels quels dans les fermes. Mais derrière les problématiques de santé humaine dont les médias font largement écho, on retrouve donc aussi celles de santé animale avec ce virus H1N1. La grippe aviaire avait obligé à des abattages massifs dans l'hémisphère sud. Pour l'instant les données manquent pour prévoir les impacts sanitaires et économiques pour la filière porcine d'une diffusion du virus de la grippe A (H1N1) humaine des éleveurs vers les porcs, ainsi que les conséquences sur la variabilité du virus.


© AFP / Getty Images - Romeo Gacad

ÉLEVAGE CONJOINT PORC ET POULET dans une ferme à Manille en 2009. Une telle proximité favorise la contamination inter-espèce.

Portrait de la famille Influenza


© Cynthia Goldsmith

Le virus Influenza est typiquement constitué d'une enveloppe et de matériel génétique, sous forme d'acide ribonucléique (ARN). L'enveloppe du virus provient en fait de la membrane de la cellule hôte, elle possède trois protéines virales majeures : une petite protéine (M2), l'hémagglutinine (H), la neuraminidase (N), qui forment des spicules dépassant vers l'extérieur et possèdent des propriétés antigéniques.

Le matériel génétique du virus est constitué de huit brins d'ARN indépendants codant pour les différentes protéines du virus : les protéines des spicules, mais aussi des protéines membranaires et des protéines internes qui assurent la réplication (multiplication) de l'ARN, sa protection lors de son transit dans la cellule hôte ou encore, la neutralisation des défenses de l'hôte. La structure du génome viral en plusieurs brins d'ARN explique son fort potentiel de variabilité, ainsi que la possibilité de passer d'une espèce à l'autre : lorsque deux virus transitent dans un même hôte (le porc par exemple, qui peut être infecté aussi bien par des virus aviaires que par des virus humains), les mélanges deviennent possibles. Des brins d'ARN d'origine aviaire peuvent s'associer avec des brins d'ARN humains et porcins, donnant un virus composite, qui exprime par exemple des antigènes de type aviaire et des protéines internes de type humain. Le virus H1N1 actuel est par exemple composé de cinq segments d'origine porcine américaine et eurasienne, de deux segments d'origine aviaire et d'un segment d'origine humaine.

Un autre facteur de variabilité du virus provient de l'enzyme qui assure la réplication de l'ARN. Cette enzyme n'est pas fidèle et les erreurs commises lors de la synthèse des nouveaux brins d'ARN se traduisent par des modifications progressives des protéines qu'ils codent, en particulier des protéines antigéniques H et N. D'où la nécessité de fabriquer chaque année un vaccin antigrippal différent, selon une composition indiquée par l'OMS en fonction des épidémies en cours.

DOSSIER

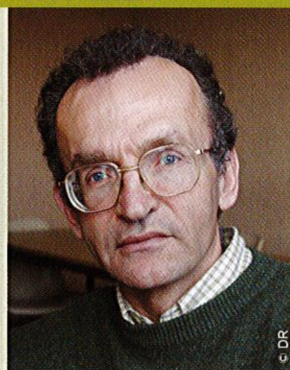
2 Les structures de recherche de l'Inra

Depuis la crise de la grippe aviaire, l'Inra dispose d'un solide dispositif de recherche sur les virus Influenza aussi bien en virologie qu'en pathologie, en expérimentation animale confinée ou en épidémiologie.



L'*Inra était absent de la recherche spécifique sur l'Influenza il y a encore cinq ans,* nous apprend Abdenour Benmansour de l'unité de recherche virologie et immunologie moléculaires (VIM) de Jouy-en-Josas, *mais nous avons rattrapé notre retard !* ». En effet, le réseau d'infrastructures travaillant sur le sujet compte dix unités de recherches et deux unités expérimentales réparties sur toute la France (cf carte). Et l'Inra apparaît dans plus de 60 % des programmes de l'Agence nationale de la recherche sur l'Influenza grâce à ses nombreux partenariats. Deux publications dans *Journal of Virology*, la revue de référence dans le domaine ont d'ailleurs récompensé ces investissements importants. Dès 2005, le réseau de recherche en virologie, associant l'Inra, le CNRS et les Ecoles nationales vétérinaires (ENV), avait identifié les virus respiratoires comme des sujets de recherches prioritaires. La grippe A de 2009 ne prend donc pas les équipes au dépourvu. L'importante mobilisation pour la crise de l'Influenza aviaire H5N1 initiée en 2005 reste transposable aux recherches sur la grippe H1N1. « *Pour nous chercheurs, ces virus sont des objets identiques, qui forment un espace évolutif continu et soulèvent donc des questions de recherche communes.* » explique A. Benmansour. Ce dernier anime, depuis juin 2005, le Bureau des grippes, une structure flexible d'animation et de réflexion créée par le département de Santé animale de l'Inra. Ce bureau coordonne les recherches avec celles menées par des partenaires de l'Inra : le CNRS, le Cirad, l'AFSSA et l'Institut Pasteur. Cette mobilisation a permis la mise en place en 2008 d'un fonds de soutien à la recherche sur l'influenza aviaire (FRIA), doté de deux millions d'euros par le MAAP (DGAL).

INTERVIEW


© DR

Frédéric Lantier,
de l'unité de recherche Infectiologie animale et santé publique, de Tours

Expérimentations confinées et en réseau

L'étude des maladies infectieuses suppose de grandes précautions...

Frédéric Lantier : Pour des pathogènes comme les virus influenza il faut des structures de confinement de niveau 3 au moins*. A Tours, nous avons inauguré en juillet 2008 les locaux de l'Inprest. A l'origine, en 2002, cette structure était destinée à la recherche sur l'encéphalite spongiforme mais elle est dédiée depuis à tous les pathogènes de niveau 3. L'air y est donc filtré, la pression des locaux varie selon le degré de confinement pour éviter les circulations d'air et tout le matériel sortant subit une désinfection par autoclavage. Pour travailler sur des animaux de la taille d'un porc qui ne peuvent tenir dans des isolateurs, les chercheurs portent en plus des scaphandres filtrant l'air.

La grippe A nécessite-t-elle des équipements particuliers ?

F. L. : J'ai porté le projet de réalisation d'isolateurs « climatiques » pour la plate-forme d'infectiologie dont la livraison est prévue pour octobre. Ces isolateurs à température et humidité contrôlées sont destinés à l'étude, essentiellement chez les volailles, de l'effet de facteurs de l'environnement sur la transmission de l'infection, entre autres dans le cas des grippes aviaires. Il est ainsi possible de modéliser la dynamique d'infection suivant les virus dans des conditions tropicales ou tempérées.

Vous êtes également coordinateur d'un réseau européen de recherche sur les maladies et infections animales nouvellement constitué, Nadir. Qu'apporte-t-il de plus ?

F. L. : Ce réseau établit pour quatre ans un partenariat entre 14 instituts européens et englobe plus largement les recherches sur les zoonoses et maladies émergentes. Le budget de 7,5 millions d'euros permet de mettre en commun des résultats de recherche, de financer des travaux spécifiques sur les modèles d'infections et d'offrir l'accès aux laboratoires à des équipes transnationales (privées ou publiques) pour mener des expériences nécessitant des infrastructures particulières. La demande pour travailler dans des locaux confinés est forte !

* Il existe trois niveaux de confinement (P2, P3 et P4) correspondant à des agents biologiques classés 2, 3 et 4, par ordre de gravité croissante pour l'homme. Exemple : classe 2 : varicelle, classe 3 : HIV, classe 4 : Ebola. Les mesures concernent la conception du laboratoire, les aménagements internes, les pratiques opératoires. Le niveau P3+ correspond à un P3 avec des précautions supplémentaires pour protéger le manipulateur (isolateurs).

Tours et Jouy en tête de pont

L'unité de recherche VIM, dirigée par Bernard Delmas, se montre particulièrement active sur le sujet des grippes. L'équipe Influenza constituée en 2006 étudie, en collaboration avec l'Institut Pasteur et le CNRS, les interactions entre cellule infectée et virus. Par ailleurs, un immunologiste travaille spécifiquement depuis deux ans sur l'espèce porcine dans un modèle d'infection par l'Influenza. Il se trouve donc aux avant-postes de la recherche sur la grippe A actuelle.

Enfin, le centre de Jouy va réceptionner un laboratoire de confinement P3+ dès le début 2010 afin de travailler sur des virus hautement pathogènes.

Au centre de Tours, les travaux vont de la protéine à l'animal. Daniel Marc et l'équipe de l'unité de recherche Infectiologie animale et santé publique, travaillent sur la protéine virale NS1 qui favorise la multiplication du virus dans la cellule. Tandis que la Plateforme d'infectiologie expérimentale dirigée par Bertrand Schwartz (voir reportage Inra magazine n°8) mène des études de réponses vaccinales et de schéma d'infection sur des animaux d'élevage (volaille, porc...) dans des conditions génétiques et sanitaires strictement contrôlées. Cela grâce aux locaux de l'Inprest (Installation nationale protégée pour l'étude des encéphalopathies spongiformes transmissibles) qui assurent un confinement de classe 3 même pour des animaux de grande taille. En 2010, ce centre va se doter d'isolateurs climatiques (cf. interview de Frédéric Lantier) et de systèmes d'imagerie médicale de pointe (scintigraphie jumelée à un scanner X) afin de suivre *in vivo* les agents pathogènes.

Une coordination nationale

La recherche sur la grippe ne se limite pas aux centres de Tours et de Jouy-en-Josas. L'Inra participe à des unités mixtes de recherche dans cinq autres centres français (cf. carte). Par exemple à l'ENV de Toulouse, les recherches sur la virologie des souches faiblement pathogènes apparaissent comme une piste prometteuse de vaccin. On trouve aussi des travaux à l'échelle des populations avec par exemple les études du Cirad sur les passages inter-espèces notamment à Madagascar.



LES UNITÉS INRA impliquées dans les recherches sur la grippe A

Une ouverture à l'international avec le Cirad

L'Asie du Sud-Est est une zone majeure d'émergence et de diffusion des virus Influenza. Cette situation découle de facteurs multiples : climat, écologie mais aussi habitudes sociétales avec, par exemple, l'existence de nombreux élevages artisanaux mélangeant cochons et volailles propices à l'apparition de nouveau virus. Le programme Revasia associant Cirad et Inra en Thaïlande, Vietnam et Cambodge a pour but d'évaluer et d'améliorer les réseaux de surveillance des élevages avicoles dans le cadre de la lutte contre la grippe H5N1. La mise en place des programmes de surveillance est effectuée par les pays eux-mêmes, le Cirad et l'Inra travaillant sur l'efficacité des systèmes mis en place et l'analyse des données collectées. En Thaïlande, deux systèmes ont été instaurés par le *Department of Livestock Development*. Une surveillance passive d'une part où les éleveurs déclarent les animaux malades au vétérinaire local qui fait remonter l'information. On analyse ensuite si la mortalité était due à H5N1 ou pas. D'autre part, il a été mis en place une surveillance active impliquant des enquêtes au porte-à-porte dans les élevages de tout le pays. Les prélèvements effectués (plus de 150 000) lors de ces enquêtes ont permis de détecter des cas d'Influenza qui avaient échappé à la méthode passive. Cette méthode active s'avère bien plus coûteuse mais très efficace durant les pics d'épizootie. Un des buts de Revasia consiste justement à adapter le coût de ces méthodes de surveillance par rapport à l'efficacité recherchée. Par ailleurs, comme l'explique Christian Ducrot de l'unité Epidémiologie animale de Clermont-Ferrand Theix, « *les données correctes et exhaustives de surveillance permettent ensuite d'asseoir des études épidémiologiques analytiques pour comprendre les sources d'infection, voies de transmission, populations ou types d'élevage à risque* ». Ces travaux doivent permettre de mieux contrôler l'infection en Asie du Sud-Est mais aussi d'éviter la diffusion des virus vers l'Europe comme on l'a vu en 2006.

3 De la molécule à la population : quelques résultats de recherche



DES TECHNICIENS EN TENUE effectuent un prélèvement sur un porcelet dans le centre de confinement P3 de Tours.

Malgré les connaissances accumulées sur le virus, les scientifiques sont loin de comprendre les mécanismes d'adaptation à différentes espèces et à l'Homme. Les connaissances sur les interactions du virus avec l'hôte restent rudimentaires. Un grand domaine est donc ouvert pour les recherches fondamentales sur la biologie du virus, recherches qui permettront de déboucher sur des applications, que ce soit la mise au point de méthodes de dépistage ou de thérapies (vaccins, traitements). Le virus utilisant largement les mécanismes de la cellule hôte, de nombreuses protéines cellulaires participent à l'infection et sont autant de points d'entrée pour une lutte efficace.

Cycle du virus dans la cellule hôte et situation des protéines « point d'entrée » de recherches à l'Inra

Les connaissances acquises sur le virus de la grippe permettent de décrire les différentes étapes de son cycle de reproduction dans la cellule hôte :

Etape 1 : Le virus se lie à la membrane cellulaire et pénètre dans la cellule L'une des hémagglutinines de l'enveloppe du virus reconnaît les molécules d'acide sialique présentes à la surface des cellules (particulièrement nombreuses à la surface des cellules respiratoires) selon un modèle clé-serrure. Le virus est englobé dans une invagination de la membrane cellulaire qui forme une vésicule d'endocytose. Puis, l'enveloppe du virus fusionne avec la membrane de la vésicule et le contenu du virus est libéré dans la cellule. Ce mécanisme nécessite l'acidification de l'intérieur de la vésicule, mécanisme auquel participent plusieurs protéines virales (pompes à protons, hémagglutinine). Puis, l'ARN du virus pénètre dans le noyau de la cellule, guidé par des protéines virales (appelées NSP pour « *non structural proteins* »).

Etape 2 : Le matériel génétique du virus se multiplie dans le noyau de la cellule hôte.
Les nouveaux ARN synthétisés sortent du noyau vers le cytoplasme.

Etape 3 : Les protéines du virus sont fabriquées dans la cellule hôte à partir des « ARN messagers » du virus. Le virus détourne la machinerie cellulaire de la cellule pour fabriquer ses propres protéines. Certaines de ces protéines -celles de la future enveloppe virale- sont d'abord enchâssées dans la membrane de la cellule hôte.

Etape 4 : Les nouvelles particules de virus se forment à partir des ARN et des protéines d'enveloppe.
Les particules virales bourgeonnent, mais restent attachées à la membrane de la cellule par les liaisons hémagglutinine-acide sialique. C'est la neuraminidase qui casse ces liaisons et permet la libération des nouveaux virus. Les traitements antiviraux actuels, le Tamiflu© et le Relenza© bloquent la neuraminidase et empê-

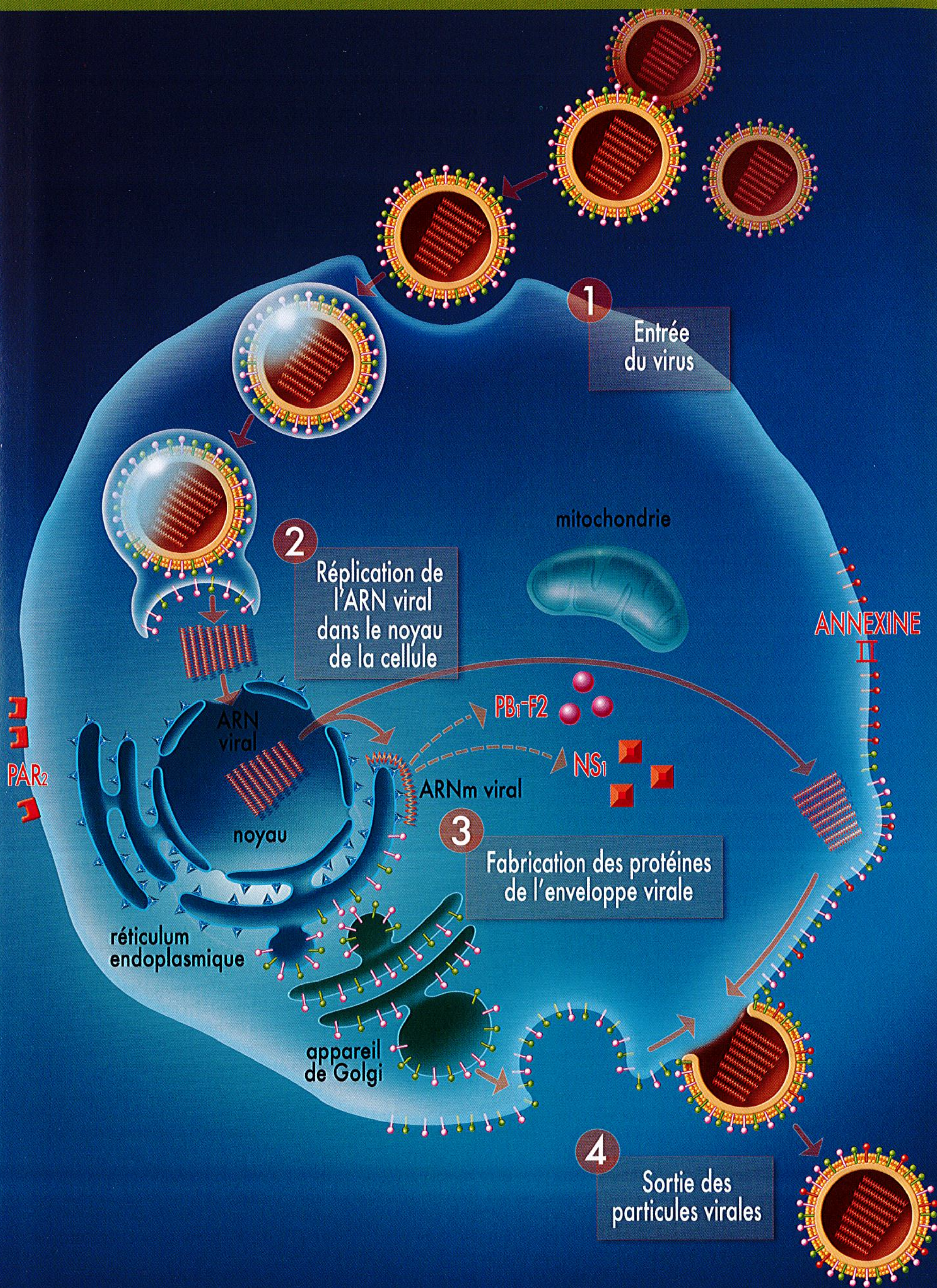


Illustration : Sophie Jacopin

chent le détachement des particules virales, gênant leur dissémination.

Même si les étapes du cycle viral sont bien décrites, de nombreuses questions restent à élucider. Comment s'assemblent le génome et les protéines pour former les nouvelles particules virales ? Quels sont les nombreux partenaires cellulaires qui interviennent dans le cycle du virus ? Les chercheurs de l'Inra de Jouy-en-Josas ont identifié et décrit le mode d'action de deux protéines cellulaires qui interviennent dans le cycle du virus : l'annexine II et le récepteur PAR2. Des travaux sont également en cours sur une protéine virale (PB1-F2), qui interagirait avec les mitochondries de la cellule hôte.

L'annexine II

L'annexine II est une protéine de la membrane de la cellule hôte. Les chercheurs de Jouy-en-Josas ont montré que certains virus la « capturent » dans leur enveloppe lors de leur sortie de la cellule (étape 4 de la fig p VII). Ils ont également élucidé le rôle de cette protéine dans le cycle cellulaire du virus. La présence d'une protéase dans la vésicule d'endocytose (étape 1) est indispensable pour que le virus soit libéré dans la cellule. La plupart des virus d'Influenza se multiplient dans le tractus respiratoire supérieur où les cellules sont riches en protéases. Les résultats suggèrent que l'annexine II fournit une autre source de protéase permettant ainsi aux virus d'infecter d'autres cellules que celles du tractus respiratoire. L'annexine II est en effet un récepteur au plasminogène, un précurseur d'une protéase abondant dans le sang. Les virus présentant de l'annexine II sur leur membrane et circulant dans le sang se chargeraient de plasminogène et deviendraient ainsi capables de se libérer et de se multiplier dans des cellules immunitaires sanguines qui les attaquent comme les monocytes. Ces cellules circulantes infectées se propageraient elles-mêmes dans d'autres organes. La voie par l'annexine II expliquerait ainsi que certains virus Influenza provoquent parfois des encéphalopathies mortelles chez des malades sans aucun signe de détresse respiratoire.

Le récepteur PAR2

L'équipe de Béatrice Riteau chargée de recherches dans l'équipe « Virus Influenza » de l'Inra de Jouy-en-Josas et ses collaborateurs (Inra de Tours, Inserm Toulouse et Université Toulouse III) ont montré chez la souris qu'une protéine présente dans la membrane des cellules, appelée PAR2, peut jouer un rôle protecteur lors d'une infection par un virus de laboratoire de type H1N1. Des études complémentaires sont nécessaires pour vérifier ce rôle protecteur contre d'autres souches virales (Cf interview Béatrice Riteau page suivante).

Les protéines virales

Des chercheurs de l'Inra de Jouy s'intéressent à PB1-F2, une protéine

La vaccination des volailles en question


© Inra / Gilles Vasseur Delaitre

« Dans les élevages de volailles, on découvre périodiquement des virus Influenza faiblement pathogènes. L'émergence du H5N1 n'a fait que mettre en lumière ce phénomène », indique Bertrand Bed'Hom, ingénieur dans l'unité de Génétique animale et biologie intégrative de l'Inra de Jouy-en-Josas. La vaccination préventive pourrait être une réponse, mais la réglementation européenne et française l'interdit pour deux raisons majeures : d'une part éviter de masquer la présence d'animaux porteurs ; et d'autre part garantir aux importateurs étrangers que les animaux sont indemnes du virus. Les moyens de lutte sont l'abattage des animaux des élevages atteints et le confinement préventif des oiseaux. Toutefois, il existe des conditions dérogatoires autorisant la vaccination pour les parcs zoologiques et les élevages situés à proximité d'un foyer d'infection. Dans le cadre d'un programme de l'Agence nationale de la recherche coordonné par l'Inra, les chercheurs de Jouy et de Tours ont montré qu'il existe chez les volailles une variabilité génétique importante de la réponse à un vaccin commercial de type H5N9, autorisé en vaccination préventive contre H5N1. Le taux d'anticorps peut varier d'un facteur 1 à 10. *« Il y a donc des individus qui répondent mieux que d'autres et on pourrait imaginer de les sélectionner, conclut Bertrand Bed'Hom, mais il faudrait impérativement s'assurer qu'une bonne réponse du système immunitaire aux virus Influenza ne s'accompagne pas d'une faiblesse de réponse à d'autres maladies infectieuses classiques comme la maladie de Marek, un lymphome d'origine virale, la maladie de Newcastle* ou la maladie de Gumboro*. »*

(*autres maladies virales aux symptômes variables)

virale, décrite en 2001 par une équipe américaine. Présente seulement chez certaines souches, elle aurait une action lytique sur les mitochondries, déclenchant un phénomène de mort cellulaire. Les chercheurs de Jouy ont montré que cette protéine provoquait effectivement une lyse *in vitro* sur des mitochondries purifiées. D'autre part, ils ont observé qu'elle pouvait changer de conformation, et de ce fait interagir avec diverses protéines mitochondriales. Son rôle n'est pas totalement élucidé.

Une équipe de Tours étudie NS1 (Non Structural Protein 1), une protéine virale qui exerce plusieurs actions provirales : favoriser l'expression des ARN messagers viraux au détriment de ceux de la cellule, bloquer les défenses cellulaires de type interféron. Sachant que toutes ces actions requièrent la liaison de la protéine à des ARN, les chercheurs ont utilisé une méthode permettant de déterminer les séquences d'ARN qui ont le plus d'affinité avec la protéine. Ils s'emploient actuellement à caractériser en détail l'interaction NS1-ARN, ce qui pourrait permettre d'élaborer de nouvelles stratégies antivirales dirigées contre NS1. Enfin, des chercheurs de l'Institut Pasteur et de l'Inra de Tours ont montré que le raccourcissement de la tige de la neuraminidase constitue l'un des déterminants permettant l'adaptation au poulet de virus issus du canard.


© CDC/ Greg Knoblock

DANS UN LABORATOIRE DE CONFINEMENT DE NIVEAU 3 américain, une chercheuse inocule un embryon de poulet avec le virus H5N1 pour étudier sa pathogénicité.

La génétique réverse

Les chercheurs produisent des virus mutants de façon ciblée sur des protéines clés : neuraminidase, NS1, PB1-F2… et comparent leurs pouvoirs pathogène *in vitro* et *in vivo* sur des poulets (à Tours) ou des canards (à Toulouse). Ce programme concerne essentiellement des virus aviaires faiblement pathogènes, mais pourra inclure l'étude de virus hautement pathogènes comme le H5N1, grâce aux installations protégées (à Tours et bientôt à Jouy). Il mobilise cinq équipes (Institut Pasteur, Inra de Tours, Jouy, Toulouse et Nantes).

INTERVIEW


© Inra / Bertrand Nicolas

Béatrice Riteau, chercheuse dans l'unité VIM, à Jouy-en-Josas

Développer des moyens de lutte contournant la variabilité des virus

Qu'est-ce qui vous a amenée à travailler sur PAR2 ?

Béatrice Riteau : PAR2, pour *protease activated receptor*, est un récepteur membranaire cellulaire. Lorsqu'il est activé, il module la sécrétion d'interférons ainsi que d'autres molécules dont on connaît le rôle antiviral. L'idée est d'utiliser le système immunitaire non spécifique de la cellule *via* les interférons en particulier pour lutter contre le virus. On espère ainsi toucher différentes souches de virus, alors que les stratégies de lutte actuelles, que ce soit par la vaccination ou l'utilisation d'antiviraux ciblant la neuraminidase, sont tributaires de la variabilité du virus Influenza.

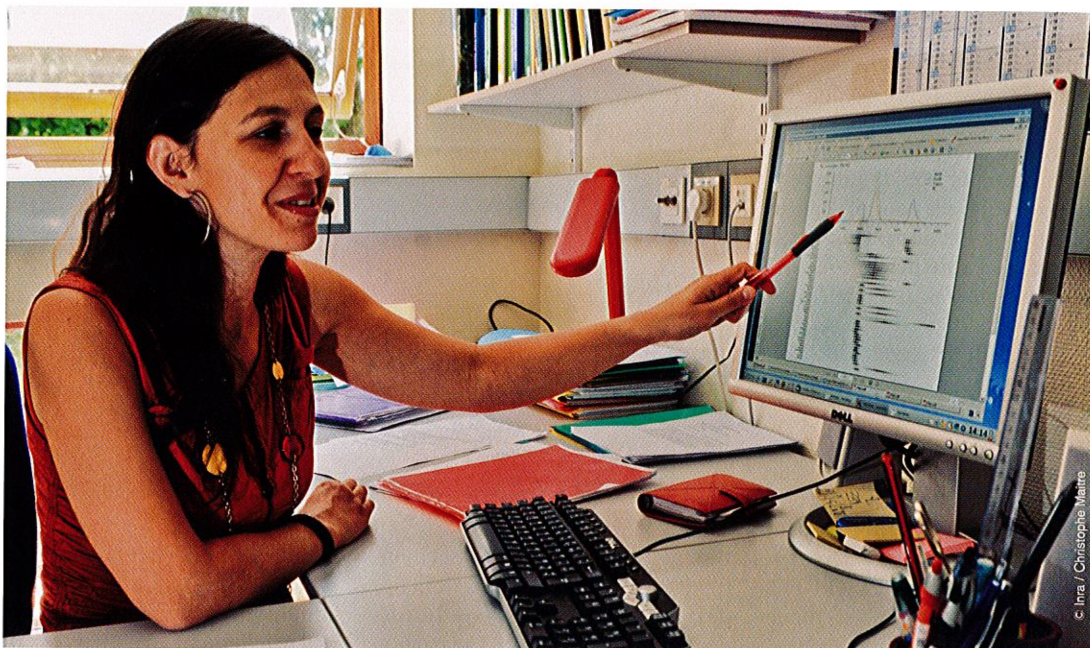
Sur quel virus PAR2 a-t-il un effet ?

B. R. : Nous avons utilisé une souche de laboratoire classique non pathogène pour l'homme, mais pathogène pour la souris. Cette souche, de type H1N1, a été isolée à Porto Rico en 1934 et est propagée depuis dans les laboratoires, sans doute avec une certaine variabilité. Les souris infectées avec ce virus meurent toutes, alors qu'elles survivent lorsque l'on active, juste après l'infection, le récepteur PAR2 avec un simple peptide de six acides aminés. Ce peptide peut être administré chez la souris par inhalation ce qui en facilite l'usage. Nous avons montré qu'il y a beaucoup plus d'interférons et beaucoup moins de particules virales dans les poumons des souris ayant inhalé le peptide.

Comment poursuivez-vous vos recherches ?

B. R. : Nous avons déposé très récemment un brevet européen sur ce procédé. Nous allons maintenant le tester sur des souches de terrain telles que le H1N1 apparu au Mexique cette année, ou encore le H5N1. Nous collaborons pour cela avec le Professeur Bruno Lina du Centre national de référence sur la grippe de Lyon et pourrons bénéficier d'un laboratoire protégé P4, unique en France. Après la souris, nous testerons le procédé sur le furet qui est un meilleur modèle car le virus est contagieux chez le furet alors qu'il ne l'est pas chez la souris. Puis les industriels pourront prendre le relais pour étudier la faisabilité de l'utilisation en thérapie humaine.

Des équations contre la pandémie


© Inra / Christophe Maître

Comment prévoir la propagation de la grippe chez les animaux ou chez l'homme ? Comment identifier les « bonnes » actions de santé publique à mener en cas d'épidémie ? Les réponses à ces questions essentielles pourraient bien se cacher dans les équations des biomathématiciens comme Elisabeta Vergu, mathématicienne à l'unité Mathématiques et informatique appliquées de Jouy-en-Josas (photo). Les travaux de modélisation, issus de la collaboration entre des chercheurs en mathématiques, en biostatistiques, en épidémiologie et en économie ont pour objectif la prédiction des dynamiques épidémiques ou pandémiques mais aussi l'évaluation de l'efficacité des mesures de prévention et de contrôle. Etudiant les épisodes de grippe aviaire de 2003 aux Pays-Bas, les biomathématiciens ont ainsi identifié, grâce à leur modélisation, des stratégies clés limitant la contamination entre les élevages. Par exemple, l'abattage immédiat dans les fermes infectées apparaissait plus efficace que l'augmentation du rayon d'abattage autour de ces foyers. De telles stratégies restent transposables lors d'un prochain épisode viral.

Les déplacements modélisés

Les chercheurs se penchent également sur les modèles de prédiction des dynamiques des pandémies de grippe humaine. Mettre en équation les déplacements humains à l'échelle du globe est évidemment plus complexe que ceux, très prévisibles, d'animaux d'élevage ! Outre cet aspect spatial, le modèle utilisé inclut également des contraintes temporelles. La guérison dépend par exemple du temps passé dans l'état infectieux.
L'utilisation du modèle de métapopulations comprenant des voyages aériens entre 52 grandes villes du monde a permis, d'une part, de distinguer plusieurs profils de pandémie selon la vitesse de propagation et la durée de la contagion. Et d'autre part, de conclure que la propagation du virus H1N1 de 2009 devrait se faire en plusieurs vagues et de manière différente dans le Nord et dans le Sud.
D'après le modèle, l'efficacité des réponses de santé publique locale (distribution de masques, de médicaments antiviraux…) dépend surtout de la rapidité de leur mise en œuvre quel que soit le profil pandémique, rapide et massif ou lent et progressif. La meilleure solution reste encore une politique de vaccination préventive : les travaux d'Elisabeta Vergu soulignent, en effet, que l'immunisation de 30 % de la population mondiale, via un vaccin efficace administré 6 mois après la détection des premiers malades, réduirait de 80 % le nombre de cas dans le monde. « *Ces données sont traitées à l'Institut de Veille Sanitaire*, raconte la mathématicienne, *ils font partie des éléments à prendre en compte mais aucun modèle ne peut être suivi à la lettre.* » De tels résultats quantitatifs doivent être considérés avec une grande précaution : d'une part, il reste encore beaucoup d'inconnues quant aux caractéristiques épidémiologiques et cliniques de cette nouvelle souche H1N1. D'autre part, ils s'appuient sur des extrapolations à l'échelle mondiale de résultats obtenus à l'aide d'un modèle mathématique simulant la propagation du virus sur un réseau de villes qui, même s'il est représentatif, reste de taille assez réduite. Elisabeta Vergu travaille donc à affiner son modèle pour répondre à des nécessités de santé publique, mais aussi pour faire avancer la connaissance dans des domaines plus fondamentaux de la biologie théorique.

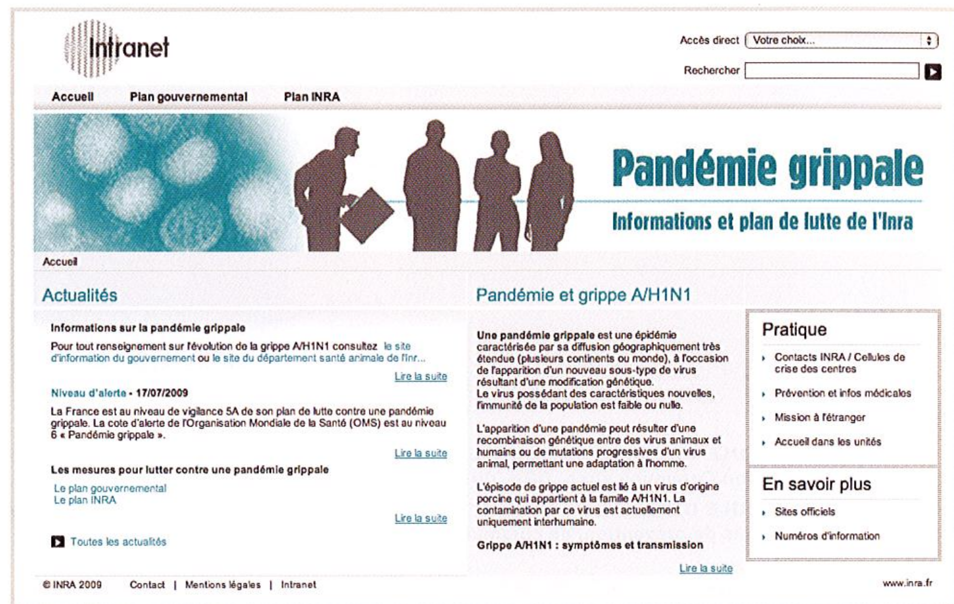
4 La prévention prise au sérieux à l'Inra

Concernant le virus H1N1, la France est actuellement en phase 5A d'alerte à la pandémie, correspondant à une « transmission interhumaine étendue », alors que l'OMS est au niveau 6. À la date de rédaction de cet article, le nombre de cas en France passe tout juste au-dessus du seuil épidémique. On assiste à une décrue des cas dans les DOM-TOM. Le virus A (H1N1) est cependant le virus grippal majoritaire en France métropolitaine et une évolution de la dissémination est attendue.

Un plan gouvernemental de lutte contre la grippe a été mis en place en 2007, lors de l'émergence du virus H5N1. Il est réactivé en 2009 avec l'apparition de la grippe A (H1N1). Il vise à protéger les personnes et à limiter la désorganisation des activités économiques et sociales du pays.

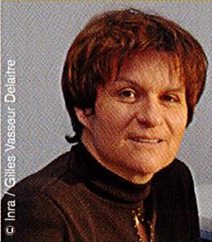
Dans le même temps et à son échelle, l'Inra a élaboré son propre plan sur un schéma d'organisation décentralisé pour tenir compte de ses multiples implantations régionales.

Pour construire ce plan, chaque président de centre Inra a consulté les directeurs des laboratoires, des unités expérimentales et des services. Il a défini une liste des « points névralgiques », c'est-à-dire du matériel à préserver - échantillons biologiques précieux, collections d'organismes ➔



INTERVIEW

Préparer l'éventuelle mise en sommeil du centre



Catherine Beaumont, présidente du centre de Tours

Quelle sera votre première action en cas de déclenchement de l'alerte ?

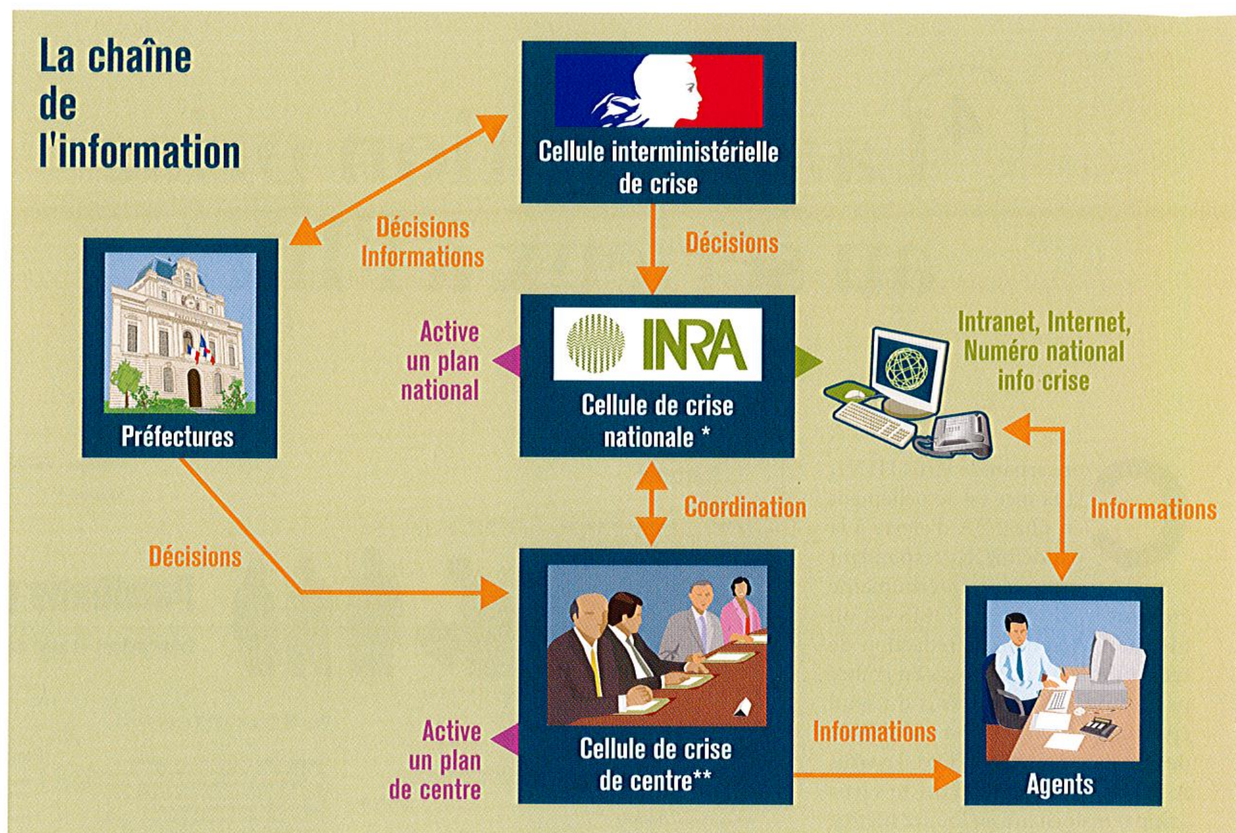
Catherine Beaumont : Ce sera d'informer nos agents. Nous avons préparé des messages différents selon qu'ils sont mobilisables ou non. Ces lettres expliquent ce qu'ils doivent faire dans chaque cas, rappellent les consignes de sécurité pendant la période de crise et précisent les modalités de reprise de l'activité.
Puis, nous préparerons l'arrêt des activités : préserver le matériel précieux (en particulier les lignées expérimentales de volailles), prévoir l'approvisionnement en fuel, notamment pour les groupes électrogènes, en eau potable, en aliments pour les animaux… A Tours, nous disposons déjà d'un plan d'opération interne, qui comporte une chaîne d'alerte mobilisable 24h/24 et 7j/7 en cas d'urgence. Mais surtout, nos animaliers sont bien formés et réalisent déjà des permanences durant les week-ends et les vacances pour assurer les soins des animaux. En tout, une trentaine d'agents habitent sur place pour assurer la maintenance de nos installations ou les soins aux animaux.

Quel message faire passer auprès des agents de votre centre ?

C. B. : Il faut se préparer à une période d'intense activité avant la mise en sommeil… Mais nous sommes confiants car nous avons déjà géré des situations de crise, par exemple un incendie il y a quelques années, et nous avons déjà eu collectivement les bons réflexes.

Quels sont les points critiques sur votre centre ?

C. B. : Ce qui sera critique, c'est la combinaison durée/intensité de la crise. Un épisode long sera plus difficile à gérer. De même, si de nombreuses personnes sont touchées, nous aurons plus de mal à maintenir les structures clés. Le point capital, mais difficile à prévoir, sera donc le pourcentage d'absentéisme pour cause de grippe des agents mobilisables.



CELLULE DE CRISE NATIONALE : * PDG, directeur scientifique « Animal et produits animaux », Prévention, Sécurité, Mission Communication, DRH, direction du système d'information...

CELLULE DE CRISE DE CENTRE : ** président de centre, directeurs d'unité, directeur des services d'appui, chargés de prévention, de communication, de maintenance, d'informatique...

vivants, animaleries, dispositifs informatiques - et des équipements nécessaires - congélateurs, tanks à azote liquide, etc. L'Inra a ainsi dénombré sur l'ensemble de ses implantations 370 points névralgiques.

En fonction des compétences requises, l'Institut a pu estimer à 860 le nombre de personnes minimum nécessaire au maintien de ces points névralgiques dans l'hypothèse d'une fermeture des laboratoires - soit environ 10 % des effectifs totaux de l'Inra - et a établi une liste d'agents d'astreinte sur plusieurs critères : volontariat, proximité, compétences, avis du médecin, situation de famille. Pour protéger les agents, l'Inra a constitué au cours des dernières années un stock de 102 000 masques. Outre des révisions annuelles, ce plan de crise fait l'objet d'une mise à jour mensuelle depuis le printemps 2009. En effet, la connaissance de plus en plus fine de la pandémie permet d'adapter la réponse de l'Inra. La virulence relativement faible du virus de la grippe A (H1N1) devrait ainsi permettre d'envisager le maintien d'un certain niveau d'activité.

Un site Intranet pour informer le personnel de l'Inra

Ce site, ouvert en juillet 2009, permet au personnel de trouver les informations sur le plan d'action gouvernemental et sur celui de l'Inra, ainsi que de nombreuses recommandations pratiques sur les déplacements à l'étranger, l'accueil de nouveaux chercheurs, la conduite à tenir en présence de syndromes grippaux, les moyens de protection ainsi que des liens très utiles vers divers sites officiels donnant des informations ayant trait à la pandémie.

+d'infos

publications :

Khaled Khoufache, Fanny Le Bouder, Eric Morello, Fabrice Laurent, Sabine Riffault, Patricia Andrade-Gordon, Severine Boullier, Perrine Rousset, Nathalie Vergnolle and Béatrice Riteau. 2009. Protective Role for Protease-Activated Receptor-2 against Influenza Virus Pathogenesis via an IFN-Dependent Pathway. *Journal of Immunology* **182**: 7795-7802

Fanny Le Bouder, Eric Morello, Guus F. Rimmelzwaan, Françoise Bosse, Christine Pechoux, Bernard Delmas and Béatrice Riteau. 2008. Annexin II incorporated into influenza virus particles supports virus replication by converting plasminogen into plasmin, *Journal of Virology* **82**: 6820-6828

web :

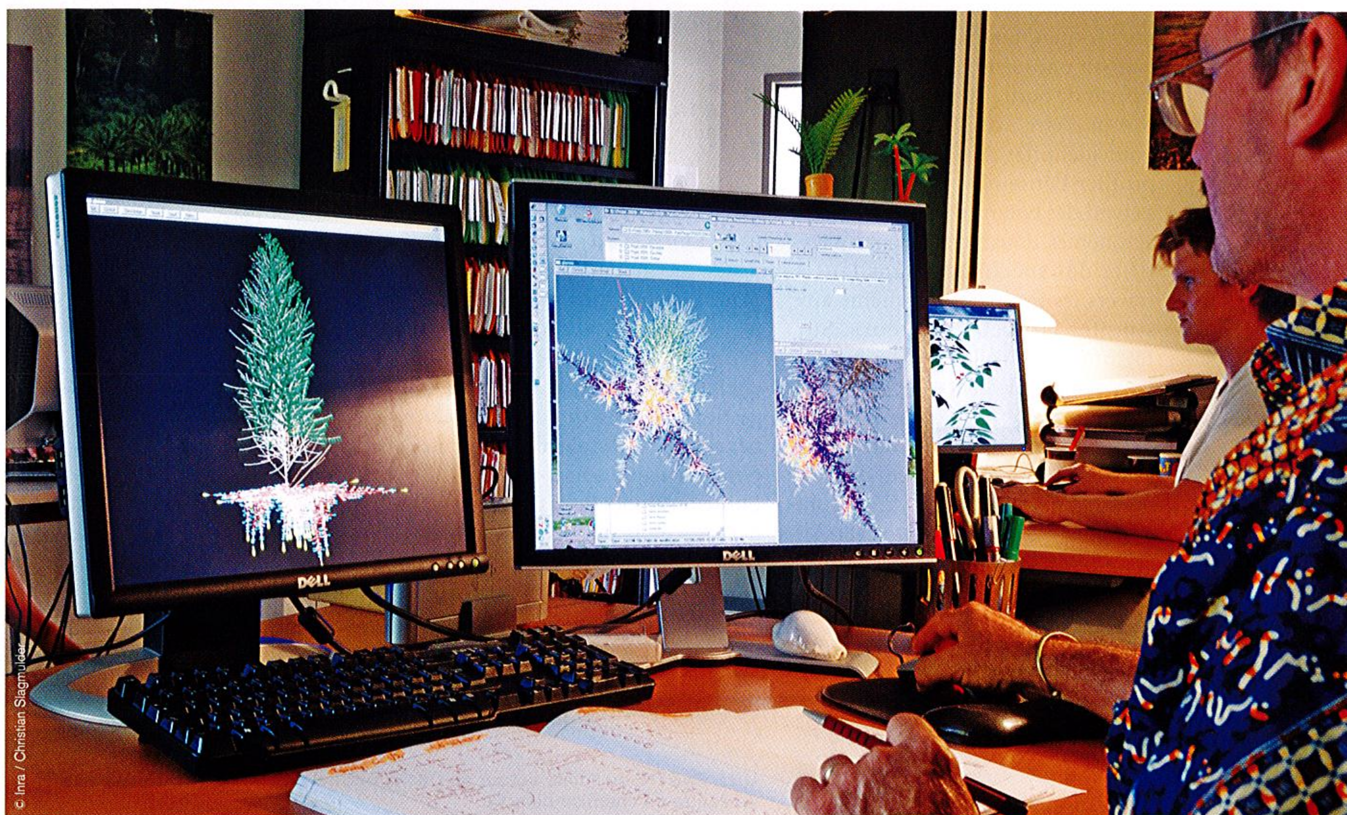
www.inra.fr/la_science_et_vous/grippes_aviaires_et_animales
www.inra.fr/sante_animale/le_departement
www.pandemie-grippale.gouv.fr
www.invs.sante.fr/display/?doc=surveillance/grippe_dossier/index_h1n1.htm

un labo

À MONTPELLIER

Chlorophylle *in silico*

L'unité Amap étudie l'architecture des plantes et la dynamique de leur peuplement aux quatre coins de la planète. Pour cela, les chercheurs développent d'étonnants logiciels et outils en ligne. Bienvenue dans le futur de la botanique.



© Inra / Christian Slagmulder

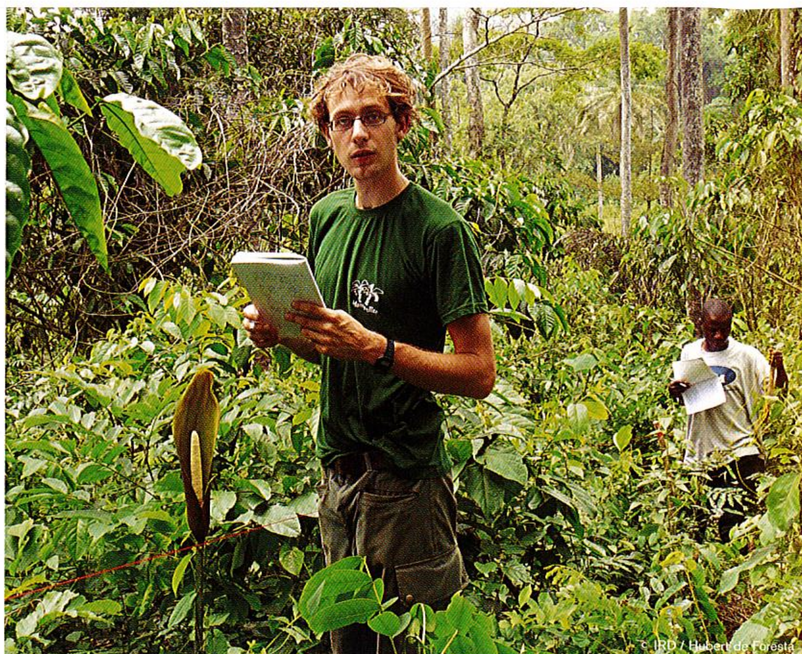
LE RÉSEAU RACINAIRE de cet eucalyptus du Gabon peut atteindre 20 m de profondeur. C'est impossible à mesurer, mais l'ordinateur le calcule à partir de la vitesse de croissance, de la géométrie du système racinaire, etc.

La botanique évolue. Outre un goût du terrain et un sens aigu de l'observation, le botaniste va devoir manier l'ordinateur. Surtout à l'unité Amap (botanique et bioinformatique de l'architecture des plantes). Cette unité très mixte implique le Cirad, le CNRS, l'Inra, l'IRD et l'université de Montpellier 2. Elle tisse également des liens très forts avec l'Inria et l'Ecole centrale de Paris. Il est rare que l'on y croise la totalité de ses agents titulaires, plusieurs d'entre eux menant leurs recherches aux quatre coins du monde : Argentine, Colombie, Guyane, Cambodge, Chine, Inde, Laos, Mali, Vietnam, Nouvelle-Calédonie… L'unité développe une approche originale pour l'étude de la morphologie, de l'architecture et de la diversité des plantes et de leurs peuplements, actuels ou fossiles, méditerranéens ou tropicaux. Ses chercheurs, qui forment de nombreux stagiaires étrangers, combinent botanique, agronomie, et écologie mais aussi - c'est plus étonnant - mathématiques appliquées et informatique.

La botanique sur la Toile

« *Les botanistes sont en train de subir la sixième extinction d'espèce,* plaisante Daniel Barthélémy, le directeur de l'unité, lui-même botaniste, *et comme les problèmes posés sont de plus en plus complexes, il est urgent, en complément des chercheurs, de faire appel à des amateurs et sociétés savantes pour recueillir des données à grande échelle sur les plantes* ». Ce constat a donné naissance à Pl@ntNet, un des projets phare de l'unité Amap, initié en 2009 et qui reçoit un soutien financier de la fondation Agropolis. Daniel Barthélémy nous dévoile, sur ordinateur, cette véritable boîte à outils virtuelle pour botaniste connecté. Imaginez : vous êtes un amateur de botanique et, lors d'une randonnée, vous tombez sur une plante que vous ne connaissez pas. Vous la photographiez avec votre téléphone portable et de retour chez vous, vous vous connectez au site web Pl@ntNet qui va identifier la plante à partir de votre photo et intégrer toutes les informations géo-

graphiques que vous lui fournirez (coordonnées, altitude) dans une base accessible par tous les botanistes du réseau. Vous venez de participer à une cartographie automatique des espèces végétales qui permettra, pas à pas, d'avoir une vue globale de l'identité, de la répartition géographique et de l'usage des plantes ! Tout a été pensé pour que des non-professionnels utilisent cette plate-forme. Le projet Pl@ntNet propose, par exemple, des logiciels d'identification des plantes qui permettent de s'affranchir du jargon des botanistes et de l'approche contraignante des flores classiques. L'un permet de traiter des images numériques, tandis qu'un autre est basé sur une identification graphique à partir de portraits-robots. Ainsi, nul besoin d'être un as de la taxinomie pour identifier sa plante et en faire profiter l'ensemble du réseau, qui s'étend des botanistes aux forestiers, agronomes, douaniers qui ont à identifier des spécimens transitant à travers les frontières, ou même aux simples citoyens amateurs. Sur Pl@ntNet, le « collecteur d'information » peut également gérer sa base de données locale (par exemple sur les mauvaises herbes des rizières de Camargue, sur les orchidées du Laos ou sur les arbres de Guyane) dont certaines données seront reversées après contrôle dans la base commune.


© IRD / Hubert de Foresta

LE TRAVAIL SUR LE TERRAIN reste indispensable. Ici un stagiaire parmi les caféiers en Guinée.

L'unité Amap collabore avec une équipe de l'Inria et avec le réseau de botanistes Tela Botanica pour mettre en place le cahier des charges de cette plate-forme informatique. Vingt personnes - techniciens, ingénieurs, chercheurs et thésards botanistes, gestionnaires de données, développeurs web - devraient être recrutées pour participer au projet.
Plusieurs études de cas pourront être dérivées de la plate-forme informatique. Le projet Pl@ntGhâts par exemple permettra de répertorier la diversité végétale des forêts tropicales humides du sud de l'Inde qui constituent un « hotspot » de la biodiversité. Le projet plus appliqué Pl@ntInvF mettra en place un outil de référencement, de reconnaissance et de suivi des espèces invasives présentes dans les DOM-TOM. Pl@ntNet devrait devenir opérationnel d'ici deux à trois ans.

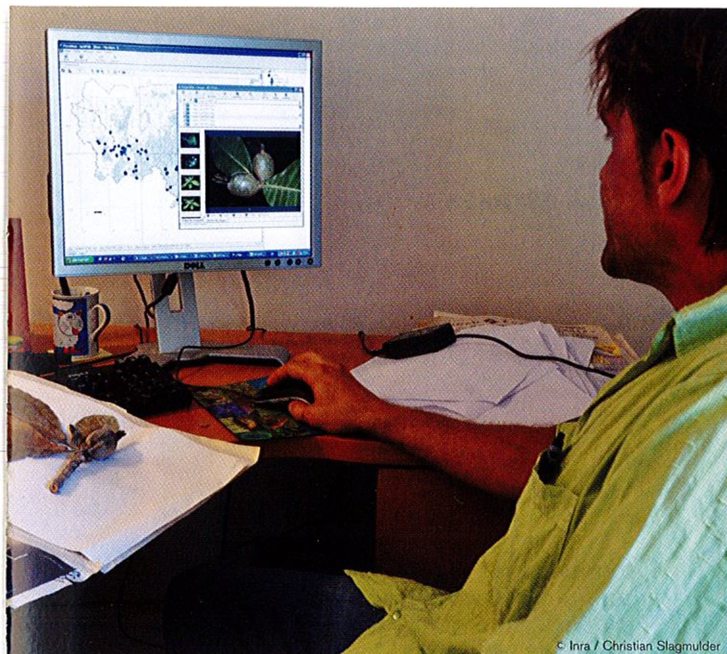
Des plantes qui grandissent sur ordinateur

L'activité de recherche principale de l'unité, son cœur de métier, c'est la modélisation de l'architecture et du fonctionnement de la plante. Deuxième visite virtuelle, cette fois avec Daniel Auclair, directeur adjoint de l'unité, plus particulièrement impliqué dans les développements des méthodes informatiques et mathématiques. Alors que Daniel Barthélé-


© Inra / Christian Slagmulder

UNE PARTIE de l'unité autour de Daniel Barthélemy, au centre en chemise blanche.





PL@NTNET donne la répartition géographique de *Gardenia imperialis*, une espèce indicatrice des forêts humides subsahariennes.



CES DOUANIERS LAOTIENS utilisent Pl@ntnet pour identifier des orchidées.

my a reçu une formation de botaniste tropicaliste, spécialiste de l'architecture des plantes, Daniel Auclair a suivi, après l'Ecole Polytechnique, un approfondissement en physiologie végétale et foresterie.

Il nous fait découvrir à l'écran deux exemples de modèles développés ou gérés dans l'unité.

Le premier, dénommé « Greenlab », a été élaboré par Philippe De Reffye, le créateur de l'Unité dans les années 80. Il permet d'obtenir une plante virtuelle qui reproduit au mieux le développement et la production de la plante réelle et répond comme elle aux contraintes du milieu. « *L'intérêt d'un tel modèle*, explique Daniel Auclair, *c'est qu'on peut réaliser des expériences* « in silico »*, alors qu'il serait long et coûteux de le faire sur le terrain. On peut par exemple modifier les paramètres du milieu : lumière, apport en eau, nature du sol... et prédire le comportement de la plante. Il est possible aussi, pour les plantes cultivées, d'évaluer leur production en fonction de différentes conditions de culture* ». Le modèle, développé en collaboration avec l'Inria et l'Institut d'automatique de Beijing en Chine, fonctionne pour plusieurs plantes d'intérêt agronomique : betterave, blé, riz, maïs, tournesol, coton, tomate, poivron, caféier, chrysanthème... et même des arbres : *Gingko biloba*, pin sylvestre...

Un deuxième exemple, la plate-forme Capsis, concerne les peuplements forestiers, avec des applications allant de l'échelle de la parcelle à celle du paysage. Capsis est couramment utilisée par les gestionnaires forestiers. Daniel Auclair montre à l'écran un modèle de forêts, simule des coupes par un simple clic, indique les individus à élaguer, et visualise les conséquences 20 ou 30 ans plus tard. Une quarantaine de modèles d'arbres et/ou de forêts ont été ainsi « mis en boîte » : feuillus (chêne, merisier) ou conifères (pin maritime). On peut également simuler un incendie et voir comment il se propage selon les essences présentes et leur répartition. Encore une utilisation sur le terrain de la modélisation sur ordinateur !

A travers tous ces exemples, Amap apparaît comme un lieu de convergence disciplinaire où botanique traditionnelle se conjugue avec modélisation pour connaître et utiliser au mieux les ressources végétales sauvages et cultivées.

P. M.

+d'infos

web :
www.inra.fr/audiovisuel/web_tv/rencontres/salon_international_de_l_agriculture_2009/la_botanique_numerique
http://capsis.cirad.fr
http://amap.cirad.fr

PAYSAGE du carbonifère reconstitué. Les données obtenues à partir de fossiles permettent de comprendre l'évolution de l'architecture des plantes



REPORTAGE

un labo

À ESTRÉES-MONS

Observation en profondeur

L'unité de service Agro-Impact installe un nouvel Observatoire de recherche en environnement (ORE) sur le site Inra d'Estrées-Mons, en Picardie.



© Inra / Aline Waquet

3

© Inra / Gérard Paillard

1


2

© Inra / Aline Waquet

Vingt-deux hectares de parcelles expérimentales à Estrées-Mons sont maintenant quadrillés de matériels scientifiques qui enregistreront des informations sur la qualité des sols, la séquestration du carbone, les pollutions diffuses, la vie organique… Ce matériel a été installé dans douze fosses (photos 1, 2), rebouchées début juillet pour de nombreuses années, l'ORE étant prévu sur 15 à 20 ans. Les enregistrements, en continu, permettent de suivre l'impact environnemental de parcelles de pois, blé, colza ou panic érigé (switchgrass). L'équipe d'Agro-Impact a notamment mis en place des tensiomètres qui mesurent la pression de l'eau du sol et des plaques lysimétriques (photo 4) qui permettent d'établir les bilans d'eau et de matière. Des capteurs de type Tdr (time domain reflectometry, photo 5) mesurent l'humidité volumétrique du sol, échantillonnée par des bougies poreuses . Au total, l'équipe a installé environ 300 capteurs. Reliés à des centrales de collecte (photo 6) et à des ordinateurs, ils entreront les données pour permettre aux scientifiques de suivre à la fois dans les sols, l'eau et l'air, la dynamique au long cours des cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote, etc.
Au début de l'été, environ 80 personnes ont pu visiter les fosses (photo 3) avant leur fermeture !
L'occasion pour Nicolas Beaudoin, ingénieur de recherche, d'expliquer ce qu'est un profil pédologique.
Le site d'Estrées-Mons a ainsi rejoint le réseau des ORE centrés sur les « Agro-écosystèmes, cycles biogéochimiques et biodiversité » qui comprend également les sites Inra de Theix et Lusignan. ●

Aline Waquet

+d'infos
contacts :
aline.waquet@mons.inra.fr ; nicolas.brunet@mons.inra.fr


5


6

© Inra / Eric Grehan

Une antenne de la recherche **brésilienne** en Europe



ROSIRES DELIZA (à droite), chercheuse brésilienne au Labex Europe a intégré l'équipe de Sylvie Issanchou à Dijon.

L'institut brésilien de recherche agronomique, l'Embrapa, s'est doté de laboratoires « extérieurs », ou Labex, comme ambassades scientifiques à l'étranger. Un premier Labex a vu le jour aux Etats-Unis en 1998. Celui de Montpellier a été créé en 2002, un troisième se monte actuellement en Corée du Sud. « *Le Labex Europe, installé à Montpellier dans les locaux d'Agropolis International, sert ainsi de porte d'entrée vers la recherche agronomique européenne. Il coordonne en ce moment l'activité de cinq chercheurs brésiliens confirmés, affectés dans des équipes scientifiques de renom, en France, au Royaume-Uni et aux Pays-Bas.* » explique Pedro Braga Arcuri, son coordinateur. Il propose aussi des séminaires d'échanges à l'instar de celui co-organisé avec le centre Inra Antilles-Guyane, les 22 et 23 septembre derniers sur les approches systémiques en écologie, en agronomie et sur l'évaluation du développement durable.

Spécialiste de l'analyse sensorielle des aliments au Brésil, Rosires Deliza a rejoint ce Labex Europe et a intégré le laboratoire Flavic (flaveur, vision, comportement du consommateur) à l'Inra de Dijon en mai dernier. « *Elle nous apporte des compétences complémentaires aux nôtres, sur le couplage des techniques quantitatives de l'évaluation sensorielle avec des techniques qualitatives permettant de mieux comprendre le comportement du consommateur* », note Sylvie Issanchou, la chercheuse de Flavic, qui encadre son poste. Celle-ci connaissait Rosires Deliza pour avoir fait partie de son jury de thèse, obtenue en 1996, en Angleterre. « *Son terrain d'étude va notamment porter sur du jambon sec traditionnel produit en Espagne par une technologie à haute pression. Ce mode de conservation détruit les micro-organismes et peut être une alternative à la salaison, alors qu'on cherche à diminuer le sel dans l'alimentation. Cette étude pourra s'intégrer dans le projet Europeen TrueFood* (Traditional United Europe Food) *financé par la Commission européenne* » complète-t-elle. Le projet sera conduit en collaboration avec un autre chercheur du Labex, en poste à l'Ensbana (pôle Agrosup Dijon).

Recherche et veille scientifique

La convention entre le Labex et l'institut de recherche d'accueil cible un projet d'intérêt commun de 2 ans. Le salaire ainsi qu'un budget de fonctionnement de 10 000 €/an sont pris en charge par l'Embrapa. Le chercheur du Labex s'engage en contrepartie à réserver la moitié de son temps à la veille scientifique et à une « *articulation active* » avec les recherches brésiliennes. « *Nous restons en relation étroite avec les responsables de l'Embrapa* », souligne Rozires Deliza qui a bien conscience de ce double enjeu : l'intérêt scientifique de son projet et sa responsabilité institutionnelle en tant qu' « ambassadrice » de l'Embrapa. Pedro Braga Acuri juge le dispositif efficace. Peut-être permet-il en effet de conjuguer les coopérations scientifiques avec les priorités institutionnelles de l'Embrapa. C'est une question que se pose actuellement l'Inra : comment articuler la stratégie internationale de l'Institut avec l'ensemble, dense, diversifié et mouvant, des échanges internationaux entre scientifiques ? ●

C. D.

L'institut brésilien de recherche agronomique (Embrapa)



L'Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria) est l'homologue brésilien de l'Inra. Créé en 1973, il emploie 8 500 agents dont 2 100 scientifiques. Les équipes se répartissent entre 39 entités régionales définies par types d'écosystèmes, filières ou domaines scientifiques transversaux. Une trentaine de chercheurs Inra conduisent des projets en commun avec leurs homologues de l'Embrapa, dans des domaines très variés (agriculture biologique, génomique, ressources naturelles…) ; les deux instituts ont réaffirmé cette année leur volonté d'accentuer leur coopération. Par ailleurs, l'Embrapa entretient de fortes coopérations avec le Cirad (génomique, dynamiques territoriales, développement durable, notamment en Amazonie).

+d'infos

web :

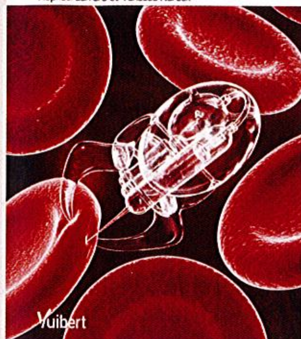
Embrapa Labex Europe
Agropolis International
arcuri@agropolis.fr
www.agropolis.fr/international/labex.html

www.embrapa.br

UMR Flavic (Flaveur, vision et comportement du consommateur), Inra, Dijon,
rosires.deliza@dijon.inra.fr
sylvie.issanchou@dijon.inra.fr

Projet Truefood : Traditional United Europe Food, www.truefood.eu/

L'Inra et le Cirad ont un représentant local commun au Brésil. Il intervient pour toutes les collaborations vers la R&D agronomique brésilienne.
Philippe Petithuguenin,
www.cirad.org.br



IMPRESSIONS

Une analyse des recherches sur le nanomonde

BIONANO-ÉTHIQUE, PERSPECTIVES CRITIQUES SUR LES BIONANOTECHNOLOGIES
ouvrage collectif dirigé par **Bernadette Bensaude-Vincent, Raphaël Larrère et Vanessa Nurock**
VUIBERT, 2008, 21 €

Les contributions d'un séminaire de recherche « Pour une évaluation critique des bionanotechnologies » (1) ont donné lieu à un ouvrage collectif. Philosophes, biologistes, physiciens, chimistes et agronomes y font un « débroussaillage » conceptuel des problèmes posés par ces technologies qui entreprennent de façonner le vivant. Le sociologue spécialiste d'éthique environnementale, Raphaël Larrère, président du comité d'histoire de l'Inra, est l'un des coordinateurs de l'ouvrage.

Il est courant de souligner la convergence entre les bionanotechnologies et les sciences de l'information, Doutez-vous de cette convergence ?
Raphaël Larrère : Prenons un exemple. La génétique et la biologie moléculaire se sont construites sur une métaphore informatique : le code génétique, qu'il suffirait de déchiffrer pour comprendre le vivant, et le génome comme programme. Puis est apparue une convergence entre informatique et biologie, la bio-informatique. Paradoxalement, en devenant plus performante grâce à la micro-informatique, la biologie moléculaire a mis en évidence des mécanismes bien plus compliqués que ne le postulait l'idée d'un programme génétique, si bien que génétique et biologie moléculaire tendent à se séparer de ce qui leur a donné naissance.

Vous relevez cependant une réelle similitude d'approche ?
R. L. : Les recherches en bionanotechnologies reviennent à initier des processus dont on ne sait pas très bien où ils conduiront et à en explorer les potentialités. On se propose d'observer ce qu'il advient du dispositif expérimental, alors que dans d'autres domaines, on valide des hypothèses à partir de l'état des connaissances ou on assemble des moyens en vue d'un résultat technique espéré.

Cette exploration expérimentale que vous évoquez semble à la fois relever d'une observation de mécanismes « naturels » du vivant et d'une construction artificielle de fonctionnalités que l'on recherche.

Quel regard critique portez-vous sur cette pratique ?
R. L. : Nous plaidons pour une « philosophie de terrain ». Il faut certes se préoccuper des risques que peuvent entraîner de telles innovations et donc de la responsabilité morale des chercheurs mais aussi s'interroger sur les transformations du monde associées à ces innovations : monde plus juste ou plus injuste ? Y serait-on, ou non, plus libre ? Si le but est d'articuler l'épistémologie avec l'éthique, il est aussi de réfléchir avec les scientifiques à la métaphysique de leurs recherches. Question centrale à l'échelle du nanomètre où il n'y a aucun moyen de faire la différence entre l'inerte et le vivant.
Le programme américain NBIC (Nano-Bio-Info-Cognition), dont l'objectif est d'augmenter les performances humaines, tend à nier les différences entre l'artifice, le vivant et l'esprit. Ces promesses d'améliorer l'espèce humaine (nano-implants thérapeutiques, manipulations génétiques, couplage des cerveaux avec des ordinateurs), focalisées sur les performances physiques et cognitives des « bénéficiaires », tendent à les adapter à un monde compétitif. Toute démarche scientifique est ainsi ancrée dans une conception particulière du monde, sur laquelle il est bon de s'interroger.

Propos recueillis par M. S.

1) Dans le cadre du programme « Biotechnologies et nanotechnologies : enjeux éthiques et philosophiques » financé par l'Agence nationale de la recherche.

contact : Raphael.Larrere@ivry.inra.fr

en bref

Le lac d'Annecy et son plancton
Jean-Claude Druart, Gérard Balvay

Voilà un ouvrage approfondi sur ce magnifique plan d'eau qu'est le lac d'Annecy, deuxième lac français en superficie et aujourd'hui l'un des plus propres au monde. Déversoir naturel des eaux usées des communes qui le bordent avant 1950, il évite de justesse une mort lente par eutrophisation grâce à la prise de conscience locale. Faisant suite à un travail de 1908, cette synthèse décrit l'évolution physico-chimique des eaux, des micro-organismes et de la faune piscicole.

Éditions Quæ, juin 2009, 176 p., 38 €.

Gènes, pouvoirs et profits
Recherche publique et régimes de production des savoirs de Mendel aux OGM

Christophe Bonneuil, Frédéric Thomas

Depuis plus d'un siècle, généticiens, sélectionneurs, biologistes, semenciers et agriculteurs transforment les plantes cultivées, mais la définition du progrès génétique n'est ni unique, ni linéaire dans le temps : elle dépend des pratiques agricoles, des acteurs économiques et politiques, des usages et plus généralement de la manière dont on se représente le vivant et le progrès. Les auteurs explorent les méandres de cette histoire.

Éditions Quæ, Fondation pour le progrès de l'Homme, 2009, 624 p., 55 €.

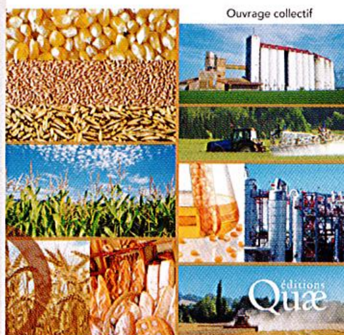
Homme et animal, la question des frontières
Valérie Camos, Frank Cézilly, Pierre Guenancia, Jean-Pierre Sylvestre (Coord.)

Certains arguments permettent aujourd'hui de réévaluer la thèse de la singularité de l'homme vis-à-vis des animaux.
Cet ouvrage écrit par des philosophes, des éthologues, des sociologues et des biologistes aborde le sujet sous de multiples angles : biologique, éthique, mais certains invoquent aussi une solidarité d'ordre moral ou juridique entre les vies humaines et animales.

Éditions Quæ, collection Update Sciences & technologies, juillet 2009, 216 p., 35 €.

LES FILIÈRES CÉRÉALIÈRES ORGANISATION ET NOUVEAUX DÉFIS
Coord. Joël Abecassis, Jacques-Eric Bergez

EDITIONS QUÆ, 2009, 184P., 35 €



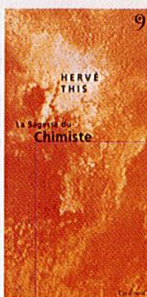
Rédigé par les scientifiques réunis dans un groupe de réflexion sur les filières céréalières, cet ouvrage collectif propose des clefs de lecture pour mieux comprendre les marchés céréaliers, le secteur des semences, la production agricole et les diverses voies d'utilisation des céréales. Forces et faiblesses, opportunités et menaces et innovations récentes permettent d'identifier les signes avant-coureurs des évolutions. Changement climatique, démographie mondiale, globalisation des marchés, attentes des consommateurs, développement de nouveaux usages… sont autant de facteurs déterminants pour l'organisation des filières. Explorant ainsi les futurs probables, l'ouvrage est aussi une invitation au partage des questions de recherche, adressée aux acteurs des filières céréalières.

CONTRE MES SEULS ENNEMIS
Isabelle Jarry

ÉDITIONS STOCK, JUIN 2009, 208 P., 17 €



« *Lorsqu'en octobre 2007, Patrick Legrand, qui dirigeait alors la Mission environnement et société de l'Inra, m'a emmenée à Dijon visiter le bâtiment du centre de Microbiologie Sol-Environnement fraîchement achevé, et qu'il a évoqué la possibilité que j'écrive « le roman du bâtiment », j'ai cru à une boutade. Certes j'écris des romans, mais le CMSE n'était pas précisément un sujet romanesque !* » Et pourtant, Isabelle Jarry en a tiré un roman mêlant anticipation et intrigue scientifico-amoureuse. « *L'action se passe donc à Dijon, sur le site de l'Inra, dans le nouveau bâtiment du CMSE. Tout le reste relève de l'imagination, avec en filigrane une certaine lecture de la science d'aujourd'hui, livrée du point de vue d'un écrivain* », annonce l'auteure.
En 2025, un jeune chercheur découvre qu'un virus transgénique envahit le bâtiment où il travaille…



LA SAGESSE DU CHIMISTE Hervé This
ÉDITIONS L'ŒIL NEUF, 2009, 131 P., 13,50 €

Hervé This, physico-chimiste à l'Inra, s'amuse en travaillant et nous transmet ici son goût de la chimie. « *La chimie est une des sciences les plus belles parce qu'elle parle à la main comme à la tête, aux sens comme à l'esprit* ».
En comparaison d'autres sciences, le chimiste n'a pas besoin d'aller dans l'espace infini pour y trouver de l'inconnu, il reste au laboratoire, cultive son jardin, observe les flaques d'eau, les glaçons qui flottent, et en déduit les propriétés des liaisons faibles ou covalentes dans les molécules d'eau. Nous croisons dans cet ouvrage des chimistes depuis la plus haute antiquité. Nous y voyons Lavoisier décomposant de l'eau en la chauffant dans un canon de fusil ou Faraday qui a failli être relieur avant de suivre des « cours du soir » pour finalement conjuguer brillamment la physique et la chimie. Un hommage à cette science, qu'Hervé This dit « *à la fois sage et folle* ».

La démarche qualité dans la recherche publique et l'enseignement supérieur

Claude Granier, Léandre-Yves Mas, Luc Finot, Bernard Arnoux, Nathalie Pasqualini, Vincent Dollé

Cet ouvrage dresse un état des lieux de la démarche qualité dans la recherche et l'enseignement supérieur en France. L'étude des objectifs des établissements et des expériences de laboratoires ou d'universités offrent un regard diversifié sur les pratiques, les difficultés rencontrées mais aussi les succès remportés.

Éditions Quæ, collection Update Sciences & technologies, sept 2009, 376 p., 49 €

La mise à l'épreuve

Le transfert des connaissances scientifiques en questions

Christophe Albaladejo, Philippe Geslin, Danièle Magda, Pascal Salembier (Coord.)

Le transfert des connaissances scientifiques devient une question de société lorsque la science est appelée à participer à des décisions stratégiques. C'est le cas entre autres pour les problèmes environnementaux. Cet ouvrage pointe les difficultés inhérentes à ce transfert des connaissances des chercheurs vers les acteurs sociaux mais aussi entre les disciplines scientifiques.

Éditions Quæ, collection Update Sciences & technologies, mars 2009, 280 p., 26 €

Le marché de l'excellence

Les grands crus à l'épreuve de la mondialisation

Marie-France Garcia-Parpet

La viticulture française qui domine historiquement le marché mondial, traverse depuis quelques années une crise inédite. L'auteure allie enquêtes ethnographiques et démarche sociologique pour comprendre cette situation. Elle montre comment les batailles de classement sont au cœur des transformations récentes du marché et combien la prise en compte des caractéristiques sociales des acteurs en jeu -entrepreneurs, Etat, commerçants, consommateurs- sont déterminantes.

Éditions Seuil, collection Liber, mars 2009, 260 p., 20 €.

éditions Quæ

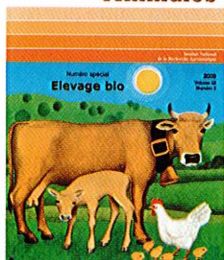
www.quae.com

c/o
Inra - RD 10 -
F-78026
Versailles
Cedex

Revue

ÉLEVAGE BIO

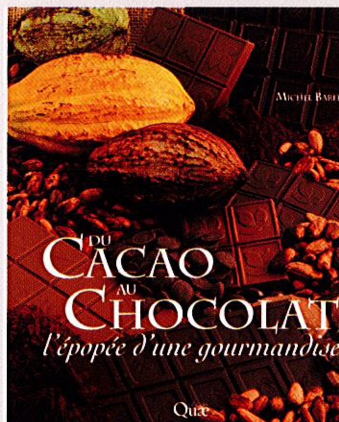
INRA PRODUCTIONS ANIMALES, VOL. 22, N° 3, 2009, 144 P., 26 €



En France, la production biologique est insuffisante pour répondre à la demande. Ainsi, 25 % de la consommation de « produits bio » est importée. En matière d'élevage biologique, ce numéro spécial apporte opportunément un éclairage scientifique sur les acquis, les verrous et les perspectives de cette filière. Après une présentation du cahier des charges français et de la réglementation communautaire (origine des animaux, conditions de logement, alimentation, traitement des maladies...), le sommaire propose une série d'articles sur différentes filières animales (avicole, porcine, bovine allaitante, ovine allaitante), un focus sur deux approches à l'échelle des systèmes d'élevage (ovin allaitant et bovin laitier) et enfin, des articles sur les problèmes les plus aigus rencontrés dans le domaine de la gestion sanitaire et de la maîtrise de la reproduction.

+d'infos

Ed. Quae. Les articles des numéros spéciaux sont mis en ligne gratuitement après épuisement de la version papier : www.inra.fr/internet/Produits/PA



DU CACAO AU CHOCOLAT L'ÉPOPÉE D'UNE GOURMANDISE

Michel Barel

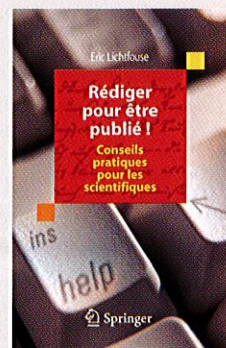
EDITIONS QUÆ, SEPT. 2009, 144 P., 29,50 €

De l'arbre qui ne perd pas ses fruits au chocolat que l'on déguste en fermant les yeux de bonheur, les confidences de Michel Barel (chercheur au Cirad et membre de l'Académie française) sur le cacao nous emportent dans un périple gourmand et savant. Apparu à l'aube des temps dans la chaleur et l'humidité de la grande forêt amazonienne, le cacaoyer, *Theobroma cacao*, ou plutôt son breuvage, a conquis le Vieux monde au XVIIe siècle. Depuis, l'industrie du chocolat prospère. Après avoir parcouru la filière, le lecteur se voit conter quelques secrets de nutritionnistes ou de… juristes, puis est invité à explorer l'arôme du cacao qui se forme pendant la fermentation et la torréfaction des fèves. Et en guise d'épilogue, il apprend à déguster le chocolat.

RÉDIGER POUR ETRE PUBLIÉ ! CONSEILS PRATIQUES POUR LES SCIENTIFIQUES

Eric Lichtfouse

EDITIONS SPRINGLER, 2009, 100 P., 23,70 €



« Publier ou périr », cet adage, les chercheurs le connaissent trop bien ! Prenant appui sur son expérience de chercheur et d'éditeur en chef des *Agronomy for Sustainable Development*, et *Environmental Chemistry Letters*, Eric Lichtfouse expose dans ce manuel les règles d'or de la rédaction d'un article scientifique. Il préconise quelques remèdes contre les défauts typiques des auteurs francophones qui souhaitent publier en anglais et prodigue de nombreux conseils pour vulgariser ses résultats ou les diffuser, y compris sous forme de micro-articles *via* Internet.

REGARD

Histoires d'agronomie



Gilles Denis, maître de conférences en histoire et épistémologie des sciences du vivant à l'université de Lille 1, est membre du comité d'histoire de l'Inra. Agronome de formation, docteur en histoire des sciences, ses recherches portent sur les sciences agricoles notamment la phytopathologie et sur les relations entre les sciences et le mouvement des Lumières.

Quel regard portez-vous sur l'histoire de la recherche agronomique dans l'histoire plus générale des sciences ?

Gilles Denis : Sa spécificité est d'être intimement liée à l'histoire de l'agriculture, des techniques et savoirs paysans. Une théorie sur les systèmes de culture s'appuie généralement à la fois sur des principes scientifiques, physiologiques et pédologiques, et sur les pratiques et savoirs paysans ayant trait aux labours. L'histoire et l'épistémologie doivent considérer cette double fondation. Même si l'agronomie à l'Inra peut héberger des recherches fondamentales, une hypothèse ou un modèle scientifique agronomique ne prend toute sa valeur que confronté au cadre socio-économique. D'une manière plus évidente que d'autres histoires des sciences, cette histoire ne peut se réduire à l'étude des textes savants. Logiquement, le comité d'histoire de l'Inra rassemble ainsi à côté d'agronomes, des historiens des sciences, des techniques et des historiens ruralistes.

Mais de quoi parlons-nous lorsque nous parlons de recherche agronomique, qui plus est au singulier ? Depuis le 18e siècle, la science de l'agriculture fait l'objet de nombreuses tentatives de définition, balançant entre sciences naturelles, chimiques ou économiques, entre approches réductrices ou synthétiques et intégratives. Les histoires nationales des sciences agricoles divergent entre une reconnaissance d'un vaste champ -l'agronomie en France- et sa quasi absence avec un éclatement au sein d'autres regroupements (départements de biologie, génétique, phytopathologie, droit, sciences économiques) comme aux Etats-Unis ou en Italie.

Y a-t-il des apports récents dans l'approche de cette histoire, par exemple celui de la sociologie ?

G. D. : L'intérêt porté au contexte socioculturel pour étudier le développement scientifique est relativement ancien. Sans remonter à Auguste Comte ou Karl Marx, rappelons que les premiers travaux de Max Weber sur la professionnalisation de la science datent de la Première Guerre mondiale tandis que c'est en 1935 que Ludwick Fleck a écrit son ouvrage (récemment traduit et publié par Nathalie Jas, historienne de l'agronomie et membre du comité d'histoire de l'Inra, intitulé Genèse et développement d'un fait scientifique). Ce qui caractériserait cette approche qui s'est fortement développée depuis les années 1960-1970, ce serait l'effacement de la frontière entre histoires « internalistes » par les textes et « externalistes » par le contexte. Aujourd'hui, l'idée que les concepts, les théories soient reconnus comme les produits du contexte socioculturel a trouvé pleinement sa place dans la recherche et l'enseignement supérieur. Par ailleurs, ce qui caractérise aussi l'histoire des sciences et notamment

agricoles d'aujourd'hui, c'est le fait de limiter son objet d'analyse pour mieux identifier la nature et le rôle de la science. On ne cherche plus à faire une histoire de l'agronomie du paléolithique à nos jours mais on s'intéresse, par exemple, au contexte et aux conséquences de la mise au point d'un vaccin contre le charbon du mouton à la fin du 19e siècle ou de l'introduction du maïs hybride en France dans les années 1950.

Quelles sont les grandes périodes de l'histoire de l'agronomie ?

G. D. : Les périodes que je propose correspondent à une histoire des engagements collectifs et des décisions institutionnelles qui déterminent le développement des disciplines scientifiques agricoles. D'autres sont possibles. J'identifierais d'abord la préhistoire de l'agronomie, entre le milieu du 18e siècle et celui du 19e siècle. A partir des années 1750, les succès de la philosophie empiriste et la volonté utilitariste rejoignent l'engouement physiocratique pour constituer la communauté des physiciens agriculteurs qui met en place des essais dans les fermes (maladie et conservation des grains, labours, rotations, etc.). A partir des années 1850, l'agronomie commence à s'institutionnaliser, aidée par l'administration, avec la création des stations expérimentales et des écoles supérieures. Jusque dans les années 1970, son champ disciplinaire demeure relativement inchangé, ainsi que ses ambitions : le développement de la production agricole. Entre les années 1850 et 1970, l'évolution de la recherche est largement déterminée par celui du contexte économique et politique. Ainsi, les périodes où l'enjeu du ravitaillement est crucial voient la création de l'Institut des recherches agronomiques (Ira) proposée pendant la Première Guerre mondiale et la création de l'Inra à la suite de la seconde ; tandis que les périodes de surproduction des années 1930 et 1970 conduisent à la fin de l'Ira et presque à celle du « premier » Inra, celui de la loi de 1946.
Les décrets de 1980 et 1984 mettent en place ce que j'ai désigné comme le « second Inra ». Le premier se présentait comme « l'organisme de recherche de l'agriculture. » Le second, « partie agricole et agro-industrielle d'un réseau de recherche-développement », élargit ses objectifs et ses moyens pour obéir à de nouveaux besoins liés à la surproduction en Europe, à l'ouverture des marchés, à l'arrivée des biotechnologies, à la sensibilité à l'environnement et aux exigences, en qualité et en diversité, du consommateur.

Aujourd'hui où en sommes-nous ?

G. D. : Nous assistons depuis quelques décennies à une nouvelle remise en cause ayant diverses origines : scientifique, politique et opinion publique. Les relations entre le champ et le laboratoire ont fortement évolué en faveur du second modifiant les frontières entre disciplines scientifiques. Les domaines agronomiques tendent à se rassembler différemment et avec d'autres, externes à l'agronomie, autour de deux grandes préoccupations : la gestion de l'environnement et l'aménagement du territoire d'une part, et la maîtrise de l'utilisation de la matière vivante comme matière première pour l'alimentation et l'agro-industrie, d'autre part. L'Inra qui a en charge l'agronomie, au sens large, tente de maîtriser cette dichotomie par ce qu'il a appelé les « sciences de l'intégration ». Celles-ci caractériseraient finalement l'agronomie au sens large, spécifique à notre pays. Ce modèle pourra-t-il se maintenir dans le cadre de l'unification des cultures scientifiques et de l'homogénéisation des institutions de recherche et d'enseignement ?

Justement, comment un chercheur peut-il se situer dans cette histoire ?

G. D. : L'histoire des sciences doit permettre l'analyse réflexive du scientifique, l'aider à mieux comprendre qui il est et ce qu'il fait, en décrivant l'histoire institutionnelle, conceptuelle, politique même, dont lui et son laboratoire sont issus et qui explique le choix de tels ou tels thèmes de recherche ou approches expérimentales, sa propre représentation de l'agriculture, de l'agronomie, etc. Le comité d'histoire de l'Inra a été constitué dans cet esprit. ●

Propos recueillis par Catherine Donnars

Le Comité d'histoire de l'Inra

Créé en 2005, le comité d'histoire de l'Inra se propose d'éclairer les évolutions scientifiques et institutionnelles qu'a connues l'Institut en les replaçant dans l'histoire des sciences et techniques agronomiques ainsi que dans l'histoire des transformations agricoles, agroalimentaires et rurales. Le comité organise des journées d'études (ayant fait l'objet de publications) et propose des thèmes de recherche à des étudiants (Mastère 2 ou thèse) avec engagement financier à la clé.
Composé d'historiens universitaires spécialisés, de membres de l'Inra et d'archivistes, il s'appuie sur des archives écrites et orales (Archorales).

+d'infos

publications de Gilles Denis :

- « *Du physicien agriculteur du dix-huitième à l'agronome des dix-neuvième et vingtième siècles* », G. Denis, C. R. Acad. Agric. Fr., 87, n°4, 2001, pp. 81-103.
- « *L'agronomie au sens large. Une histoire de son champ, de ses définitions et des mots pour l'identifier* », G. Denis, in P. Robin, J.-P. Aeschlimann et C. Feller, *Histoire et agronomie, entre ruptures et durée*, Paris, IRD, 2007, pp. 61-90.
- « *Quelques mots sur l'histoire de l'Institut national de la recherche agronomique* », G. Denis, Document interne Inra, Paris, 1995.

publications issues des journées d'études du comité d'histoire de l'Inra :

- *Sciences, chercheurs et agriculture, pour une histoire de la recherche agronomique*, C. Bonneuil, G. Denis et J.-L. Mayaud, Paris, Ed. Quae-L'Harmattan, 2008.
- *A quoi sert l'histoire des sciences ?*, M. Morange, Ed. Quae, 2008.

web :

Archives orales de l'Inra : **www.inra.fr/archorales**
60 ans d'histoire : **www.inra.fr/60ans/histoire**

contact :

Gilles Denis, maître de conférences en Histoire et épistémologie des sciences du vivant, UMR 8163 Savoirs, Textes, Langage - CNRS, Universités de Lille 3 et 1 **http://stl.recherche.univ-lille3.fr**
gilles.denis@univ-lille1.fr

AGENDA

9 octobre
MONTPELLIER

Agricultures et alimentations du monde en 2050
La prospective Agrimonde est une réflexion collective sur les enjeux alimentaires et agricoles mondiaux à l'initiative conjointe de l'Inra et du Cirad. Ce colloque sera l'occasion de présenter ses résultats.
https://colloque.inra.fr/agrimonde

19/20 oct
PARIS

Agriculture et développement durable
Quinze projets de recherche initiés en 2005 dans le programme « Agriculture et développement durable » soutenu par l'ANR, l'Ademe, le Cemagref, le Cirad et l'Inra restituent leurs résultats.
https://colloque.inra.fr/add

20 octobre
TOURS

La filière avicole française à l'horizon 2025
Restitution des scénarios d'évolution possibles de la filière avicole à l'horizon 2025 dans le cadre de l'étude prospective engagée par l'Inra et l'Institut technique de l'aviculture (Itavi) en 2007.
WWW.paris.inra.fr/prospective/actualites/la_filiere_avicole_francaise_a_l_horizon_2025



PHOTO SATELLITE de cultures avec irrigation centrale au Kansas.

29 octobre
ANGERS

Isafruit
Colloque dédié aux professionnels européens de la filière fruitière et de l'agroalimentaire sur les résultats du programme européen Isafruit (200 chercheurs, 60 organismes de recherche et entreprises) qui a étudié comment accroître la consommation de fruits, améliorer leur qualité et démontrer leur « plus-value » santé.
WWW.isafruit.org
WWW.angers-nantes.inra.fr

5 novembre
ANGERS

Ciag : Variétés innovantes et modes de culture adaptés
L'élaboration conjointe de variétés innovantes et de modes de culture adaptés permet des avancées significatives dans l'élaboration d'une agriculture durable et illustre une nouvelle démarche de recherche. Ce Carrefour de l'innovation agronomique montre comment intégrer l'analyse et la valorisation des ressources génétiques à ce processus, optimiser les procédures d'inscription variétale et faire évoluer la réglementation.
WWW.inra.fr/ciag

22/27 novembre
CAYENNE, GUYANE FRANÇAISE

La science au service de la gestion des forêts tropicales humides
Cette conférence internationale, co-organisée par le Gip Ecofor, l'Inra, le Cirad, l'IRD, le CNRS, AgroParisTech et l'université Antilles-Guyane, met en relation les éléments contextuels et les approches scientifiques pour nourrir une vision globale sur la gestion des forêts tropicales humides.
WWW.gip-ecofor.org/publi/page.php?id=1&rang=0&domain=39&lang=fr_FR

2/3 déc
PARIS

XVes Journées 3R - Rencontres recherches ruminants
L'Inra et l'Institut de l'élevage essaiment leurs résultats récents dans différents secteurs de l'élevage des ruminants ainsi que leurs produits. L'édition 2009 cible l'élevage en milieu tropical, la sélection génomique et l'évolution des procédés de transformation des produits animaux.
WWW.journees3r.fr/

8 déc
PARIS

Expertise scientifique collective
L'Inra organise un colloque de restitution de l'Expertise scientifique collective consacrée à la douleur chez les animaux d'élevage, réalisée à la demande des ministères de la Recherche et de l'Agriculture. Programme et inscriptions disponibles à partir du 15 octobre sur le site Internet de l'Inra.
WWW.inra.fr/l_institut/expertise